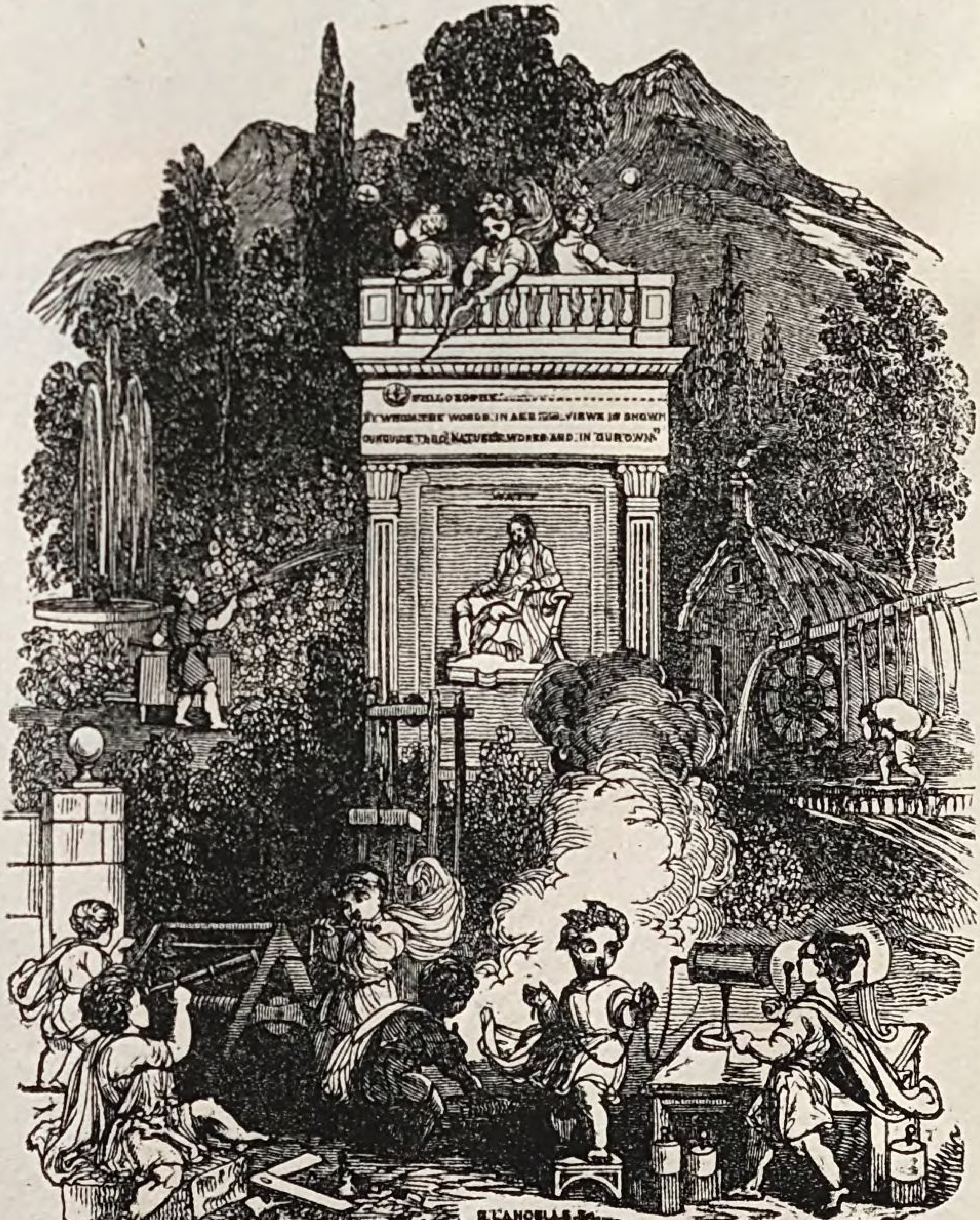

PHILOSOPHY
VIEWS IS SHOWN
NATURE'S WORKS AND IN OUR OWN"
WATT

Anleitung

zum

Selbststudium der Pyronomik.

Nach dem Book of Science

von

J. Sporschil.

Mit 13 Abbildungen.

Zweite Auflage.

Leipzig,
Verlag der Expedition des Pfennig-Magazins.
(F. A. Brockhaus.)

1839.

Inhalt.

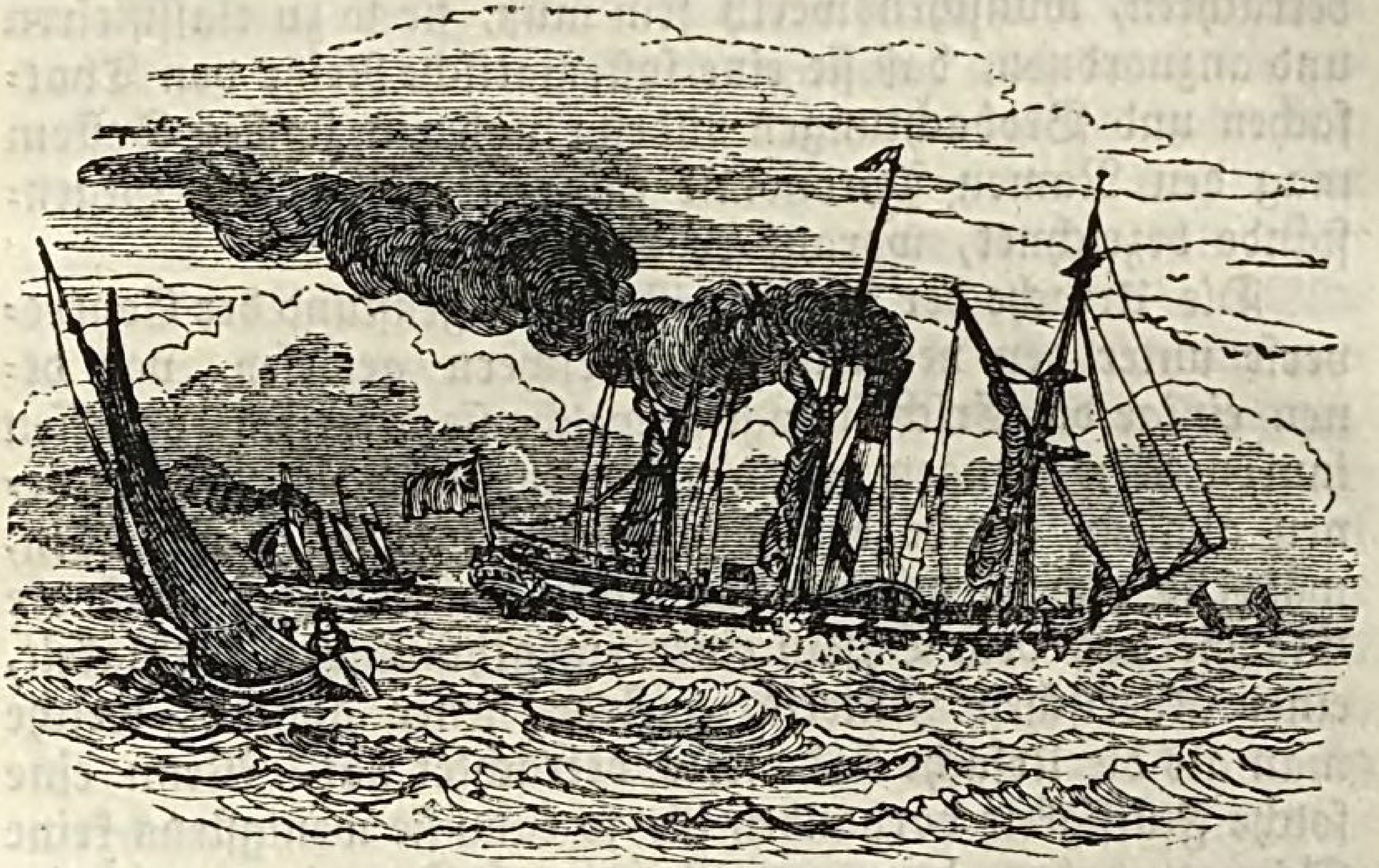
Seite

Ursache der Wärmen 5
Wirkungen der Wärme 7
Quellen der Wärme 9
Sonnenwärme 11
Centralwärme der Erde 13
Erdwärme 15
Wärme durch Friction 17
Wärme durch Verbrennung 19
Ausdehnung der Wärme 21
Wärmemesser 27
Wedgwood's Pyrometer 35
Differentialthermometer 37
Grad der Ausdehnung 39
Ausdehnung gefrorener Flüssigkeiten 41
Gebundene Wärme 43
Specifische Wärme der Körper 45

	Seite
Absorption der Wärme während des Schmelzens	47
Verdunsten flüssiger Körper	49
Absorption der Wärme durch Verdunstung	51
Das Destilliren	53
Dampfkessel	55
Dampfmaschine	57
Beschreibung der Dampfmaschine	59
Fortpflanzung der Wärme	63
Sieden des Wassers	67
Erwärmte Luft	69
Radiation der Wärme	71
Radiation der Kälte	73

Pyronomik.

Pyronomik.



Pyronomik.

Zu jenen Zweigen der Naturkunde, welche in Folge der Forschungen unserer Zeitgenossen den Rang und die Wichtigkeit einer eigenen Wissenschaft erlangt haben, gehört auch derjenige, dessen Zweck es ist, die Eigenschaften und die Thätigkeit der Wärme zu erforschen. Um dieses Fach der menschlichen Kenntnisse zu bezeichnen, hat Sir John Leslie den Ausdruck Pyronomik = Gesetze der Wärme *), gewählt. Die Wirkungen der Wärme, oder vielmehr der relativen Temperatur haben einen so entscheidenden Ein-

*) Aus dem Griechischen Πῦρ, Feuer, und Νόμος, Gesetz.

fluß auf alle Körper um uns, und bringen so vielfältige und eigenthümliche Folgen hervor, daß es, man möge sie nun als aus Modificationen der Materie, mit welchen wir am innigsten vertraut sind, hervorgehend, oder als abhängig von dem Dasein eines besondern, höchst feinen Agens betrachten, wünschenswerth sein muß, sie so zu classificiren und anzuordnen, daß sie eine systematische Reihe von Thatsachen und Beobachtungen bilden; und ein solches System mag den Namen Pyronomik führen, weil er die Gegenstände bezeichnet, worauf er Bezug hat.

Die Ursache der Wärme ist ein Gegenstand der Controverse unter den neuern Naturforschern gewesen, von denen einige die Erscheinungen, welche sie betreffen, gewissen innern Bewegungen der kleinsten Theilchen der Körper, jenen ähnlich, welche den Schall hervorbringen, zuschreiben, während andere sich bemüht haben, zu beweisen, daß die Wärme aus dem Dasein einer eigenthümlichen Flüssigkeit, einer ätherischen Materie, entstehe, jener ähnlich, welche man als die Ursache des Lichts betrachtet hat. Wenn eine solche Flüssigkeit vorhanden ist, so kann sie wenigstens keine Schwere haben, denn man hat durch Experimente dargethan, daß das Hinzufügen von Wärme zu was immer für einen Körper keine Veränderung in seinem Gewicht hervorbringt. Dr. Georg Fordyce hat in Betreff des Einflusses der Temperatur auf das Gewicht der Körper Forschungen angestellt, woraus er den Schluß zog, daß die Entziehung der Wärme das Gewicht des Wassers vermehrte. Er goß 1700 Gran Wasser in eine gläserne Kugel, verschloß sie hermetisch, ermittelte das Gewicht des Glases und seines Inhalts mit der äußersten Genauigkeit, tauchte dann die Kugel in eine die Gefrierung bewirkende Mischung und fand, nachdem die Flüssigkeit in vollkommenes Eis verwandelt worden war, daß sie $^3/_{16}$ Gran am Gewichte gewonnen habe *). Guyton de Morveau und Chauf-

*) S. Philosophical Transactions, vol. LXXV.

sier haben in Frankreich ähnliche Versuche mit Wasser und Schwefelsäure angestellt, und folgerten daraus denselben Schluß. Andere Naturforscher jedoch haben vergleichende Versuche mit dem Gewichte des Wassers und der Schwefelsäure im flüssigen Zustande angestellt, ohne jedoch, nachdem dieselben durch Kälte in einen festen verwandelt worden waren, irgend im Stande zu sein, auch durch die genauesten Wagen eine Gewichtsveränderung zu entdecken. Der scheinbare Einfluß der Veränderung der Temperatur auf das Gewicht der Körper, wie man ihn in den oberwähnten Versuchen bemerken wollte, mag besser dem Einfluß der gefrorenen Masse auf die Dichtigkeit der sie umgebenden Luft zugeschrieben werden; zugegeben daher auch, daß jene Beobachtungen vollkommen richtig waren, so berechtigen sie doch noch zu keinem bündigen Schluß. Graf Rumford hing an den einen Arm einer Wage eine Flasche mit Wasser und an den andern eine mit Weingeist, und zwar so, daß das vollkommenste Gleichgewicht herrschte, fand dasselbe jedoch ungestört, nachdem das Wasser völlig gefroren war, obschon die demselben entzogene Wärme hinreichend gewesen wäre, ein Stück Gold von gleichem Gewichte glühend zu machen. Wenn man daher mit Lavoisier und seinen Freunden, den Gründern des sogenannten antiphlogistischen Systems der Chemie, annimmt, daß die Wärme mehr ein Stoff als eine Bewegung sei, so muß man auch zugeben, daß sie eine unwägbare, ferner, wie manche Naturforscher es genannt haben, eine incoercible Flüssigkeit sei, weil sie zwar einige Körper schwerer als andere durchdringt, es aber doch keinen einzigen gibt, der ihren Fortschritt gänzlich aufhalten könnte. Man hat die Ausdrücke Caloricum *) und Wärmestoff gewählt, um die hypothetische Ursache jener Erscheinungen, welche in das Bereich der Pyronomik gehören, zu bezeichnen; und ohne das besondere Dasein des Wärmestoffs der französischen

*) Von dem Lateinischen calor, die Wärme.

Chemiker zuzugeben, kann man sich doch zuweilen dieses Ausdrucks mit Vortheil bedienen, um den Betrag der Wirkung zu bezeichnen, welcher durch die relativen Veränderungen der Temperatur in demselben oder in verschiedenen Körpern hervorgebracht wird.

Es gibt in allen Sprachen eine Menge Redensarten, um die durch die Veränderungen der Temperatur hervorgebrachten Wirkungen, sowol in Betreff auf den Eindruck auf unsere Sinne, als auf die Verwandlungen der Form oder Structur der uns umgebenden Körper, zu bezeichnen. Wenn wir einen Gegenstand berühren, welcher mehr erhitzt ist als die auf ihn gelegte Hand, so nennen wir die daraus entstehende Empfindung Wärme, und wenn der Gegenstand weniger erhitzt war, Kälte. Aber Wärme und Kälte, Hitze und Frost, so gebraucht, sind bloße relative Ausdrücke; denn eine Substanz, welche auf die eine Person die Empfindung der Wärme hervorbringt, kann der andern kalt scheinen, und wenn Jemand die eine Hand einige Minuten an das Feuer hält, die andere dagegen auf einen kalten Stein oder Marmorplatte legt, und dann beide Hände in laues Wasser taucht, so wird die Flüssigkeit die kalte Hand erwärmen und die warme kühlen. Dr. James Hutton sagt: „Es gibt vielleicht keinen Gegenstand, in Betreff dessen die Sprache und die Begriffe der Menschen unbestimmter und von wahrer Wissenschaft entfernter wären, als in Bezug auf Wärme und Kälte. Der Grund davon ist nicht schwer anzugeben. Wärme ist ein Ausdruck, den man in verschiedenen Fällen anwendet; denn sie ist sowol ein Thätigkeitsprincip in den Dingen außer uns und ein Leidensprincip für unsere Sinne. Aber dies ist nur ein Theil der Schwierigkeit, in welche dieser scheinbar so einfache Gegenstand nothwendigerweise verwickelt ist; denn wenn die Wärme ein Thätigkeitsprincip in den äußern Dingen ist, gibt es zwei verschiedene Wirkungen, welche nach Gestalt der Dinge aus diesem Princip, als aus seiner Ursache folgen. Erstens werden die Körper ausgedehnt oder in ihrem Umfange erweitert: dies ist eine

besondere Wirkung. Zweitens verlieren die Körper, ohne so durch die Hitze ausgedehnt zu werden, ihre Festigkeit und werden in ihrer Substanz flüssig: dies ist eine von jener ganz verschiedene Wirkung, und beide Wirkungen sind von dem Gefühl der Wärme und Kälte, welches die unmittelbare Wahrnehmung unserer Sinne ist, vollkommen verschieden *)."

Unter den Ausdrücken, welche man gebraucht, um die verschiedenen Wirkungen oder Operationen der Wärme, oder die Erscheinungen, welche wir ihrer Thätigkeit auf die uns umgebenden Körper zuzuschreiben pflegen, zu bezeichnen, befinden sich einige, welche auf einen Zusammenhang zwischen Licht und Wärme deuten: so nennt man einen Körper, wie das bis zur Röthe erhitzte Eisen, glühend; der leuchtende Dampf, welcher einem brennenden Körper entströmt, heißt Flamme; wenn eine Substanz, welche diese Erscheinungen darbietet, entweder ganz oder zum Theil in die Luft verschwindet, so heißt dieser Proceß Verbrennung, und wenn ein erhitzter Körper Licht ausstrahlt, ohne zu verbrennen, so ist er weißglühend. Wärme und Licht in Verbindung mit einander heißt oft Feuer, welches die alten Naturforscher für das charakteristische Merkmal des Wärmestoffs hielten und als eines der vier Elemente ansahen.

Die Wirkungen der Wärme auf unsere Sinne sind zu veränderlich und trügerisch, um einen wichtigen Beistand zur Erforschung ihrer Natur und Eigenschaften leisten zu können; die Principien, welche die Grundlage der Pyronomik bilden, müssen daher von der Beobachtung jener Erscheinungen abgeleitet werden, welche unter gewissen Umständen stets stattfinden, so daß man sie bei dem gehörigen Verfahren nach Willkür hervorbringen und mit Genauigkeit die Ergebnisse der Combinationen, durch welche Wärme

---

*) A Dissertation on the Philosophy of Light, Heat, and Fire, by J. Hutton, M. D., F. K. S. E., 1794. p. 7, 8.

angehäuft oder zerstreut und ihre Wirkung auf die Körper geleitet, modificirt oder beendet wird, bestimmen kann. Die unterscheidenden Eigenschaften oder Wirkungen der Wärme, oder jene Erscheinungen, welche aus ihrer Hinzufügung zu den Körpern, oder einfacher aus der Erhöhung ihrer Temperatur entstehen, sind dreifacher Art: 1) Bloße Ausdehnung oder Zunahme des Umfangs, sowol bei festen als bei flüssigen und gasartigen Körpern, ohne Veränderung der Form. 2) Umwandlung aus dem festen in den flüssigen Zustand, wie man Eis aufthauen macht oder Blei schmilzt, und aus dem flüssigen in den gasartigen Zustand, wie wenn man Wasserdampf oder von irgend einer andern Flüssigkeit mittels Kochen oder Destillation Dünste bildet. 3) Zerstörung des Gewebes der Körper durch Verbrennung, in Folge welcher neue Combinationen der constituirenden Theilchen der Körper gebildet werden, deren Erforschung jedoch mehr den Chemiker als den Physiker angeht.

Quellen der Wärme.

Bevor wir in Betreff der Eigenschaften und Erscheinungen der Wärme in das Einzelne eingehen, müssen wir den Quellen oder wirksamen Ursachen der Wärme einige Aufmerksamkeit schenken. Diese sind: Ausstrahlung aus der Sonne zugleich mit dem Lichte; gewisse mechanische Operationen, wie Reibung, Erschütterung, Druck; verschiedene chemische Processe, namentlich das Verbrennen. Auch wird Wärme aus den lebenden Thieren und Vegetabilien entwickelt, entweder durch den unmittelbaren Einfluß der Lebenskräfte der organischen Natur, oder in Folge chemischer, durch die besondern Eigenschaften der organisirten Körper modificirter Processe.

Daß die Sonne die große Quelle der Wärme oder die Hauptursache der Erhöhung der Temperatur der ihren Strahlen ausgesetzten Körper ist, das ist eine so offenkundige Thatsache, daß sie keines Beweises bedarf. Was die Art betrifft, wie diese Wirkung hervorgebracht wird, herrscht

eine große Meinungsverschiedenheit. Die im Volke verbreitetste Ansicht in Betreff der Beschaffenheit und Structur der Sonne als Quelle der Wärme und des Lichts hielt sie für eine unauslöschliche Masse Materie im Zustande des intensivsten Brennens, oder mit andern Worten, für eine Kugel von immerwährendem Feuer, eine Idee, die offenbar der Vergleichung der Sonne als Licht und Wärme ausstrahlend mit andern brennenden Körpern, welche dasselbe thun, entnommen worden ist. Sir William Herschel hat eine verschiedene Meinung in Betreff der Sonne aufgestellt, welche er in Folge zahlreicher teleskopischer Beobachtungen für eine finstere, kugeliche Masse hielt, umgeben von einer Atmosphäre, die aus durchsichtigen, elastischen Flüssigkeiten besteht, aus deren Zersetzung sich unaufhörlich Licht und Wärme entwickeln; auch glaubt er, daß die feste Masse der Sonne, weit entfernt, der Sitz oder die Quelle eines unauslöschlichen Feuers zu sein, vielmehr wahrscheinlich als eine Welt betrachtet werden müsse, die gleich unserer Erde bewohnt ist. So interessant auch diese Hypothesen sind, müssen wir sie jedoch, als in keinem nothwendigen Zusammenhange mit dem uns vorliegenden Stoffe stehend, mit dieser kurzen Notiz entlassen.

In Betreff der Sonne als Hauptquell der Wärme entsteht die Frage, ob die Wärme eine eigene Art aus der Sonne oder, nach Herschel's Hypothese, aus ihrer Atmosphäre emanirenden und den Raum zugleich mit dem Lichte durchmessenden ätherischen Stoffes sei, welcher durch die verschiedenen Körper auf der Oberfläche der Erde und anderer Planeten absorbirt wird, die Wirkungen fühlbarer Wärme hervorbringt, feste Körper schmilzt, flüssige verdünstet und die Zerstörung der Substanz der Körper in Begleitung von chemischen Operationen bewirkt; — oder ob die Wärme und die sie begleitenden, eben erwähnten Erscheinungen nicht vielmehr aus der Fortpflanzung der Bewegung durch den Raum entspringen, wobei die Sonne oder ihre Atmosphäre die große, anregende Ursache der Wärme wäre, und sie ungefähr so hervorbrächte, wie eine

Glocke Schall. Nach der ersten Annahme muß man das Dasein einer besondern, penetrirenden Flüssigkeit zugeben, welche von der Sonne ausgeht, mit größerer oder geringerer Leichtigkeit in alle irdischen Körper dringt und auf dieselben ihre eigenthümlichen Wirkungen hervorbringt; nach der zweiten Annahme muß man einräumen, daß es im Raume zwischen der Sonne und den Planeten ein ätherisches Medium von unbegreiflicher Dünnheit geben müsse, durch welches Vibrationen mit einer Geschwindigkeit bewirkt werden können, welche die den Erscheinungen des Schalls zugeschriebenen unendlich übersteigt.

Die Wärme, insofern sie von dem Einfluß der Sonne abhängt, ist über die Erde ungleich vertheilt. Wegen der Schiefe der Ekliptik oder der scheinbaren Bahn der Sonne durch den Himmel fallen ihre Strahlen auf gewisse Theile der Erdoberfläche zu einer Jahreszeit senkrechter als zur andern, und die Ungleichheit der Wirkung, die aus dieser Ursache entsteht, wird zum Theil durch die größere Länge der Zeit aufgewogen, während welcher die Sonne ununterbrochen jene Gegenden der Erde bescheint, wo die Richtung ihrer Strahlen ungünstiger ist. So übersteigt die Länge des Tags unter dem Äquator nie zwölf Stunden, während sie zunimmt, sowie man dem Pole näher kommt, und innerhalb der arktischen und antarktischen Kreise scheint die Sonne sechs Monate ununterbrochen und bleibt ebenso lange gänzlich unsichtbar. Der relative Einfluß der Sonne als die Ursache der Hitze auf die verschiedenen Theile der Erdoberfläche hat die Aufmerksamkeit des Dr. Halley erregt, welcher das Ergebniß seiner Forschungen der königl. Gesellschaft der Wissenschaften in einer „Abhandlung über die verhältnißmäßige Sonnenwärme in allen Breiten und über die Methode, sie zu ermitteln", vorgelegt hat. Er sagt, daß, wenn man die Sonne als die einzige Ursache der Wetterwärme betrachtete, er keine Ursache sähe, warum unter dem Pol der Solstitialtag nicht ebenso heiß sein solle, als unter dem Äquator, wenn die Sonne gerade über

dem Scheitel steht; denn unter dem Pole sind während aller 24 Stunden des Tages die Strahlen der Sonne in einem Winkel von 23½ Grad zum Horizont geneigt, unter dem Äquator dagegen steht sie zwar über dem Scheitel, scheint aber nur zwölf Stunden und ist zwölf Stunden abwesend; ferner steht sie während drei Stunden acht Minuten von jenen zwölf Stunden nicht so hoch als unter dem Pol, so daß sie von allen 24 Stunden nur 9 höher steht als da, und 15 Stunden tiefer" *). Er fügt ferner hinzu: „Man hat alle Gründe, zu glauben, daß, wenn die Sonne beständig unter dem Wendekreise stände, der Pol wenigstens so warm sein würde, als es jetzt unter der Linie ist. Allein es ist die Eigenthümlichkeit der Wärme, daß sie in dem Gegenstande gebunden bleibt, wenn die erwärmende Ursache verschwunden ist, insbesondere in der Atmosphäre: unter dem Äquator stillt die zwölfstündige Abwesenheit der Sonne die durch den Einfluß ihrer Strahlen mitgetheilte Bewegung, worin die Wärme besteht, sehr wenig, bevor sie wieder aufgeht. Aber unter dem Pol hat die lange, sechsmonatliche Abwesenheit der Sonne, woher die äußerste Kälte kommt, die Luft so erkältet, daß sie gleichsam gefriert; auch kann derselbe, bevor die Sonne ziemlich weit an ihm heran ist, ihre Gegenwart kaum fühlen, weil ihre Strahlen aufgefangen werden durch dicke Wolken und beständige Nebel und Dünste, und durch jene Atmosphäre von Kälte, wie sie Boyle genannt hat, welche aus dem ewigen Eise entsteht, das in unermeßlichen Quantitäten die sie umgebende Luft kältet, wegen des zu baldigen Verschwindens der Sonne nicht aufthaut, und während des langen Winters, der auf diesem kurzen Zwischenraum von Sommer folgt, wieder zunimmt" **). Dr. Halley fährt fort, den Einfluß von Localumständen auf die

---

*) Miscellanea curiosa, 1705, p. 258.

**) Ibid, p. 260.

Temperatur der verschiedenen Gegenden zu untersuchen, insbesondere was die Nähe von hohen Bergen und weiten Sandwüsten betrifft. Sein eigentlicher Zweck aber war, das Verhältniß zwischen der Temperatur und der Breite zu erforschen, insofern jene von der Richtung der Sonnenstrahlen und den respectiven Zeiträumen, während welcher sie wirken, abhängt. Seit dem Anfange des jetzigen Jahrhunderts sind eine Menge Thatsachen in Betreff dieses interessanten Gegenstandes mitgetheilt worden, und die Beobachtungen über die Temperatur, welche in verschiedenen Theilen der Welt, namentlich in den höhern nördlichen Breiten, gemacht worden sind, haben Männer vom Fache in den Stand gesetzt, genauere Schlüsse in Betreff der Temperatur der Erde, insofern sie durch ihren Standpunkt in verschiedenen Jahreszeiten bewirkt wird, zu ziehen, als diejenigen waren, welche auf rein theoretischen Berechnungen beruhten. Aus einer Vergleichung der Beobachtungen Humboldt's in den Äquatorgegenden mit jenen der Capitaine Scoresby und Parry in den kältern Klimaten des Nordens hat man gefolgert, daß es zwei Maximumpole der Kälte, einen in Amerika und den andern in Asien, gebe, und daß der niedrigste Stand der Temperatur nicht an dem Nord- und Südpol der Erde, sondern an diesen imaginairen Punkten stattfinde. Dies steht keineswegs mit den Beobachtungen Halley's in Widerspruch, denn Temperatur und Klima müssen hauptsächlich von der Gestalt der großen Continente der Welt abhängen; überdies gibt es eine große Menge Umstände, welche den Einfluß der Sonnenwärme in Beziehung auf die Lage der verschiedenen Plätze auf der Oberfläche der Erde modificiren. Atkinson schlägt in einem Aufsatze in den „Memoirs of the astronomical society" die mittlere Temperatur des Äquators auf 86° . 55, und die des Pols auf 10° . 53 an. Forbes erklärt die erstere Angabe für entschieden zu groß und sagt: „Es ist wahrscheinlich, daß die mittlere Temperatur des Äquators 81° . 5, höchstens 82° überschreitet." Die mittlere Temperatur des Pols kann nur aus Beob-

achtungen in sehr hohen Breiten gefolgert werden, weswegen die folgende Tabelle der mittleren Temperatur interessant und wichtig ist.

	Breite.	Mittl. Temp.	Beobachter.
Melville-Insel . .	$74\frac{3}{4}°$ . .	$-\ 1\frac{1}{2}°$ . .	Parry.
Port Bowen . . .	$73\frac{1}{4}$ „ . .	$+\ 4$ „ . .	Derselbe.
Igloolik	$69\frac{1}{3}$ „ . .	$+\ 7$ „ . .	Derselbe.
Winter-Insel . . .	$66\frac{1}{4}$ „ . .	$+\ 9\frac{1}{2}$ „ . .	Derselbe.
Fort Enterprise .	$64\frac{1}{2}$ „ . .	$+\ 15\frac{1}{2}$ „ . .	Franklin.

Arago hat aus den Resultaten, welche Scoresby, Parry und Franklin erhielten, gefolgert, daß die mittlere Temperatur des Pols 13 Grad betrage; dies jedoch in der Voraussetzung, daß das Maximum der Kälte am Pole sei, was nicht wahrscheinlich ist: sie kann jedoch nicht viel geringer sein, als dieser intensive Grad *).

Die relative Abnahme der Wärme, je höher man sich über die Oberfläche der Erde erhebt, ist ein der Forschung höchst würdiger Gegenstand. Forbes sagt: „Das eigentliche Gesetz der Abnahme der Temperatur, so wie sie wäre, wenn die Erde entfernt würde, muß wahrscheinlich durch verschiedene Beobachtungen in Luftballons, die zu einer beträchtlichen Oberfläche von der Erde beginnen, gesucht werden." Die besten Beobachtungen über die relative Abnahme der Wärme bei Zunahme der Höhen sind diejenigen, welche Humboldt mittels Experimenten in den Äquatorialgegenden von Südamerika gemacht hat. Das allgemeine Ergebniß dieser Forschungen ist für 120 Toisen Höhe eine Abnahme von einem Grade nach Reaumur's Thermometer. Vergleichende Beobachtungen zu Genf und auf dem Bernhardsberge liefern eine höchst bemerkenswerthe

---

*) Report upon the Recent Progress and Present State of Meteorology. By James D. Forby, T. R. S. in Rep. of the British Association for 1832, p. 216.

Übereinstimmung, denn der Unterschied der mittleren Temperatur beider Plätze 8 Grad 64 Minuten Reaumur für 1069 Toisen ist, was 123½ für 1 Grad Reaumur, oder 352 Fuß für 1 Grad Fahrenheit gibt, und das ist wahrscheinlich das correcteste mittlere Resultat, was für jetzt erreicht werden kann *).

Es ist die Frage aufgeworfen worden, ob das Klima eines besondern Striches oder der Erde im Allgemeinen sich seit der Zeit, bis zu welcher historische Nachrichten gehen, wesentlich verändert habe. Einige Schriftsteller sind geneigt, diese Frage bejahend zu beantworten, und führen dafür die Angabe der Historiker an, daß England früher Wein erzeugt habe, obschon die Sommer dort jetzt zu kalt sind, um diese Frucht zur erforderlichen Reife zu bringen. Umstände der Art können jedoch nicht als entscheidend betrachtet werden, und man kann im Allgemeinen schließen, daß wir keinen Grund haben, eine solche Veränderung anzunehmen.

Obschon jedoch die Temperatur der Erde, insofern sie von der von der Sonne stammenden Wärme abhängt, als bleibend betrachtet werden kann, hat man doch Grund, zu glauben, daß die ganze Masse des Erdballs allmälig erkaltet, und ursprünglich einen sehr intensiven Grad von Hitze hatte. Baron Fourier, der sich durch Forschungen über diesen interessanten Gegenstand ausgezeichnet, hat bewiesen, daß die Wärme in einer geringen Entfernung von der Oberfläche sehr groß sein kann, und daß sie wegen der schlecht leitenden Kraft der Rinde oder äußern Erdschichten dennoch keinen merklichen Einfluß auf das Klima ausübt; er schätzt denselben nicht auf $1/30$° des hunderttheiligen Thermometers. Gegen den Mittelpunkt der Erde zu mag die Hitze äußerst intensiv sein, und ihr mögen auch die Erscheinungen des Erdbebens und der Vulcane zuzuschreiben sein. Der Proceß des Auskühlens, der anfangs

*) Ibidem, p. 219.

sehr schnell von Statten gegangen sein muß, mag jetzt einen solchen Verlauf angenommen haben, daß er unwahrnehmbar ist. Aus Experimenten, die man zu Paris in den Kellern unter dem Observatorium angestellt hat, hat sich die Wahrscheinlichkeit ergeben, daß der Einfluß der Sonnenstrahlen sich nicht auf mehr als 100 Fuß unter der Oberfläche erstrecke. Daher mag die Wärme beinahe unveränderlich sein, und durch die obern Schichten muß ein beständiges Zuströmen und Abströmen der Wärme stattfinden. Da der Einfluß der Sonne sich nicht jenseits einer großen Tiefe unter der Oberfläche der Erde erstreckt, so kann man daraus folgern, daß jenseits dieser Tiefe, in jeden aufeinander folgenden Schichten die Temperatur das ganze Jahr hindurch, je nach der Lage, jenen gleich sei; wirklich hat Cordier aus einer Vergleichung vieler in Cornwallis, Sachsen, Britannien, Schweiz, Amerika und andern Welttheilen wahrgenommenen Thatsachen ermittelt, daß dies der Fall ist. Auch hat man beobachtet, daß in allen untern Schichten die Wärme, je tiefer man hinunter steigt, stets zunimmt, ein entscheidender Beweis, daß es im Mittelpunkte der Erde eine Quelle der Wärme geben müsse *).

Aus allem Diesen und in Conformität mit den geologischen Forschungen kann man folgern, daß der Planet, welchen wir bewohnen, in sehr ferner Zeit im geschmolzenen Zustande war, und daß er gleich allen andern halbflüssigen Fluidis unter der Einwirkung der Centralkräfte seine eigenthümliche Gestalt, eine plattgedrückte Sphäroide, erhalten hat. Durch wie viele Jahrhunderte die Erdkugel fortfuhr, Hitze von ihrer Oberfläche auszustrahlen, bis endlich feste Schichten, wie die verschiedenen Modificationen der Urgebirge, gebildet wurden und welche noch längere Zeit verflossen sein mag, bis diese Felsen die Basis dieser so zahlreich bevölkerten Land- und Wasserwelt wurden,

---

*) Report of British Association, p. 221.

dies erforschen zu wollen, wäre vergeblich. Es genüge für uns als das Ergebniß der genauesten und ausgedehntesten Beobachtungen anzuführen, daß die innere Hitze der Erde auf die Temperatur ihrer Oberfläche, oder die Schichten unter derselben keinen merklichen Einfluß mehr habe, weswegen man die Variationen des Klimas, so wie die Abwechselung von Wärme und Kälte in den verschiedenen Jahreszeiten, und nicht minder die aus Nebenursachen entstehenden Veränderungen hauptsächlich dem Einfluß der Sonne, als der allgemein wirksamen Quelle der Wärme, zuschreiben muß *).

Unter den mechanischen Mitteln, um Hitze hervorzubringen oder vielmehr zu erregen, ist die Friction wol das gebräuchlichste und wirksamste. Beim Holzsägen, Metallbohren bemerkt man bald, daß die der Friction ausgesetzten Substanzen beträchtlich warm werden. Die Räder einer Kutsche gerathen wegen der schnellen Bewegung um ihre Achse zuweilen in Flammen. In einigen uncivilisirten Ländern, z. B. in Patagonien, bedienen sich die Einwohner dieses Mittels, um sich Feuer zu verschaffen. Entweder reiben sie zwei Stücke hartes, trockenes Holz aneinander, bis eine Flamme entsteht, oder sie stecken die stumpfe Spitze eines Stabes von hartem Holze in eine

---

*) Man kennt einige sehr merkwürdige Fälle von äußerster Hitze, die von mehrern Beobachtern bemerkt worden sind. In Winkler's „Elementen der Physik," Bd. I, S. 179—182 befinden sich zwei Tabellen sehr hoher und sehr niedriger Temperaturen, die zu verschiedenen Zeiten und an verschiedenen Orten beobachtet und vom Professor Heinsius gesammelt worden sind. Die höchste atmosphärische Temperatur, welche darin angegeben ist, wurde am Senegal unter dem 16. Grad nördlicher Breite an der afrikanischen Küste beobachtet; die Hitze betrug 86¼ Grad Delisle, was 108½ Grad Fahrenheit

kleine Öffnung in einem dicken Brette und drehen ihn mit großer Geschwindigkeit zwischen den Händen, wodurch sie Feuer erhalten.

Graf Rumford stellte einige wichtige Versuche über die Wirkung der Friction in Betreff der Erzeugung von Wärme an. Da er bemerkt hatte, daß während des Bohrens einer Kanone große Hitze entstand, verschaffte er sich eine ungebohrte Kanone mit dem großen, zwei Fuß über ihre Oberfläche vorragenden Stück, welches gewöhnlich mit der Kanone gegossen wird, um ihre Festigkeit zu sichern dieses vorragende Stück wurde gebohrt und auf die Form eines hohlen, mit der Kanone durch einen schmalen Hals zusammenhängenden, hohlen Cylinders reducirt; nun wurde der Apparat mit Flanell umhüllt, um das Entweichen der Wärme zu verhindern, und durch Pferde um seine Basis gedreht, während ein Bohrer gegen den Boden des Cylinders drückte. Die Temperatur des Metalls am Anfang

---

gleich kommt. Diese Temperatur war beträchtlich geringer als diejenige, welche, dem „Journal of Science, Literature and the Arts" von 1820, Bd. IX, S. 423 zufolge, zu Bagdad im August 1819 herrschte. „Am 16. August des vergangenen Jahres (1819)," heißt es darin, „stieg das Thermometer zu Bagdad auf 120 Grad Fahrenheit, und stand um Mitternacht auf 108 Grad: viele Menschen starben, und die Priester sprengten aus, der Tag des jüngsten Gerichts wäre gekommen. Die größte in England beobachtete Hitze, wovon wir authentische Nachricht haben, war in den Jahren 1808 und 1825; am 13. Juli 1808 stieg das Thermometer, nach dem Register der königlichen Gesellschaft, auf 93°.5, und das Thermometer des berühmten Cavendish zu Clapham auf 96°. Dr. Heberden beobachtete die Hitze im Juli 1825; am 18. stand das Thermometer auf 96°, am folgenden Tage auf 95°. S. Philos. Trans. 1826, part. II, p. 69.

der Operation war 60°; nachdem der Cylinder in einer halben Stunde 960 Umwälzungen um seine Achse gemacht hatte, wurde er zur Ruhe gebracht, und man fand, daß die Temperatur auf 130 Grad gestiegen war. Bei einem andern Experimente ließ man einen Bohrer in einem zum Theil gebohrten Cylinder von Messing 32 Mal in einer Minute umdrehen, nachdem zuvor der Cylinder in ein Gefäß, welches 18 Pfund Wasser enthielt, eingeschlossen worden war; die Temperatur des letztern war anfänglich 60°, in einer Stunde stieg sie auf 107, und in 2½ Stunden kochte das Wasser.

Stockenschneider, ein scharfsinniger Mechaniker zu Nienburg an der Weser, hat eine Maschine erfunden, mittels welcher große Hitze durch Reibung erzeugt und das Wasser zum Sieden gebracht wurde.

Luft scheint nicht nothwendig zu sein, um mittels der Reibung fester Körper Wärme hervorzubringen. Boyle erhielt eine beträchtliche Wärme, indem er zwei Stücke Messing unter einem luftleeren Recipienten sich schnell in gegenseitiger Berührung bewegen ließ. Pictet von Genf wiederholte dieses Experiment mit Erfolg und fand, daß die Hitze vermehrt wurde, wenn man weiche Substanzen, z. B. Baumwolle, zwischen die aneinander geriebenen Oberflächen gab. Sir H. Davy isolirte einen Apparat zur Erregung von Wärme durch Reibung, indem er denselben auf Eis unter einem luftleeren Recipienten setzte; doch wurde Wärme erzeugt. Auch ermittelte er, daß zwei Stücke Eis, indem sie aneinander gerieben werden, es sei in der Atmosphäre einer Stube unter dem Gefrierpunkt oder unter einem luftleeren Recipienten, schmelzen.

Druck bringt sowol bei festen als bei flüssigen und gasartigen Körpern Wärme hervor. Eine Eisenstange kann gehämmert werden, bis sie glühend wird, auch stark zusammengedrücktes Wasser gibt Wärme, wie die Experimente Dessaigne's, sowie die interessanten Forschungen Perkin's über die Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeiten,

wovon an einem andern Orte die Rede gewesen ist *), beweisen. Auch feste Körper, wenn sie heftig ausgedehnt werden, geben Wärme, wie dies Jeder selbst fühlen kann, wenn er ein Stück Gummi Elasticum stark ausdehnt und es dann an die Lippe führt. Barlow führt in seiner Abhandlung über die Cohäsion des hämmerbaren Eisens als eine interessante, der Aufmerksamkeit der Naturforscher würdige Thatsache, an, daß in dem Augenblick, als die Stange reißt, sie an diesem Punkte eine solche Hitze offenbart, daß, wer sie faßt, die Empfindung hat, wie wenn man sich etwas verbrennt **).

Die Wirkung des Druckes in dieser Beziehung zeigt sich besonders in der Hervorbringung von Wärme mittels gasartiger Flüssigkeiten, wie z. B. die atmosphärische Luft. Wenn man nämlich Luft schnell zusammendrückt, indem man den Stempel einer Spritze, die am andern Ende beinahe zu ist, schnell niederstößt, so entsteht große Hitze; und es sind eigene Spritzen zu dem ausdrücklichen Zwecke verfertigt worden, um Feuer hervorzubringen, da die durch den Druck erzielte Hitze groß genug ist, um Zunder zu entzünden.

Die chemischen Operationen, in deren Folge Hitze erzeugt wird, sind zahlreich, und zu den merkwürdigsten Ursachen der Entwickelung von Hitze aus so vereinigten Körpern, daß sie chemische Zusammensetzungen bilden, gehören diejenigen, die aus der Verbrennung entstehen. Nicht alle Substanzen können verbrannt werden, daher die Eintheilung der Körper in verbrennbare und unverbrennbare. Zu jenen gehören fast alle vegetabilische Substanzen, z. B. Holz, Holzkohlen, Öle; die meisten thierischen, z. B. Haare, Wolle, Hörner, Fett; und alle metallischen Körper. Zu den nicht verbrennbaren Körpern zählt man Steine, Glas,

---

*) Siehe „Anleitung zum Selbststudium der Hydrostatik", S. 9.

**) Encyclopaed. Metropol. — Mixed sciences, p. 70.

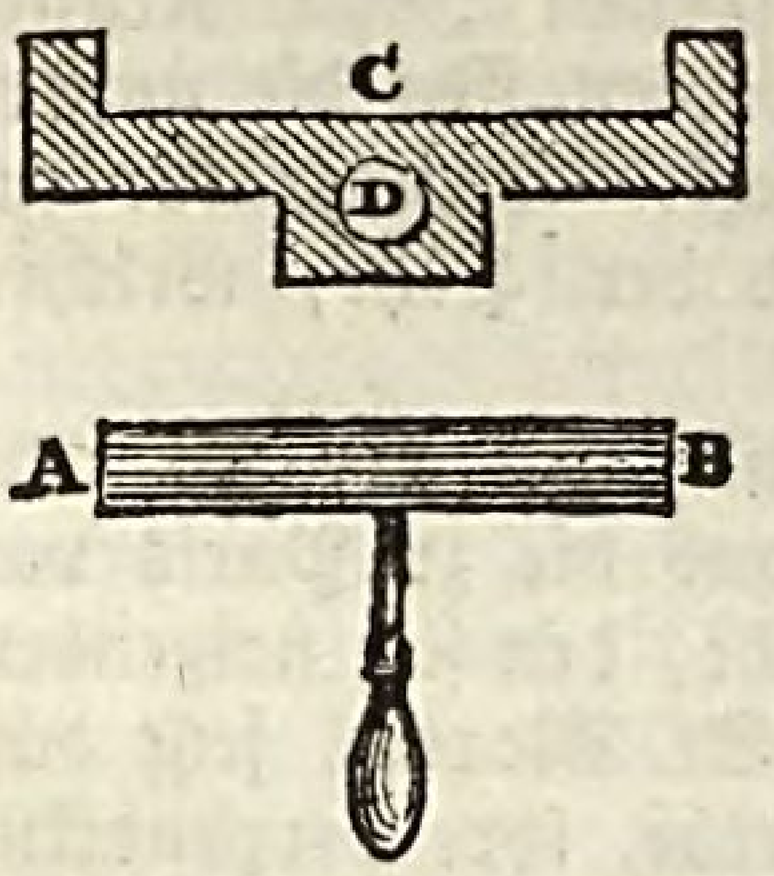
Salze. Wenn diese letztern unter Umständen, wo sie keine chemische Zersetzung erleiden können, einem sehr hohen Grad von Hitze ausgesetzt werden, so zeigen sie allerdings die Erscheinungen des Feuers, d. i. die Vereinigung von Wärme und Licht, was man Glühen, Rothglühen, Weißglühen nennt: aber wie sie wieder bis zu ihrer ursprünglichen Temperatur ausgekühlt sind, wird man finden, daß die Hitze, welcher sie ausgesetzt gewesen, wenig oder gar keine Veränderung an ihnen hervorgebracht hat. Verbrennbare Körper aber werden durch die Hitze sehr verschieden afficirt. Einige von ihnen verbinden sich bei verhältnißmäßig niedriger Temperatur mit dem Oxygen, das sich in der sie umgebenden Atmosphäre befindet, und alle erleiden ähnliche Veränderungen bei gewissen Temperaturen, während welcher Processe Wärme häufig in der Form von Feuer entwickelt wird.

Als eines der einfachsten Beispiele der Hervorbringung von Wärme als Wirkung chemischer Combination möge die Zunahme der Temperatur angeführt werden, welche stattfindet, wenn man Wasser mit Alkohol mischt, und deren man gar leicht gewahr wird, wenn man die Flasche, in welche die beiden Flüssigkeiten gegossen worden sind, gleich nach ihrer Vermischung angreift. Die Vermischung von Wasser aber mit Schwefelsäure, oder wie man es gewöhnlich nennt, Vitriolöl, bringt eine bei weitem größere Erhöhung der Temperatur hervor; denn wenn man eine Unze Schwefelsäure in eine Flasche gießt, worin sich acht Unzen Wasser befinden, so wird das Glas so erhitzt werden, daß man es nicht in der Hand halten kann, und ein noch höherer Wärmegrad wird hervorgebracht, wenn man die Menge der hinzugegossenen Schwefelsäure vermehrt.

Charakteristische Wirkungen oder Eigenschaften der Wärme.

1. Ausdehnung oder Erweiterung der Körper.

Die augenfälligste und directe Wirkung der Wärme oder Erhöhung der Temperatur besteht in der Vermehrung des Umfangs des erhitzten Körpers oder Zunahme seiner Dimensionen gewöhnlich nach allen Richtungen. Dieses findet bei festen, flüssigen und gasartigen Körpern statt, ohne ihre wesentlichen Eigenschaften zu ändern. Die ausdehnende Wirkung der Wärme auf feste Körper kann mittels eines eisernen Cylinders, wie er nebenstehend abgebildet ist, dargethan werden. Wenn der Cylinder AB kalt ist, wird er genau in die Form C passen, auch in die Öffnung D gehen; wenn er jedoch erhitzt wird, indem man ihn z. B. eine Zeit lang in siedendes Wasser taucht, so wird er so sehr ausgedehnt werden, daß er weder in die Form, noch in die Öffnung mehr paßt. Sobald jedoch der Cylinder ausgekühlt ist, es sei langsam in der Luft, oder schnell mittels Schnees oder Eises, so wird er wieder zusammengezogen und in die Cavitäten wie zuvor passen. Je mehr der Cylinder erhitzt wird, desto größer wird das Maß der Ausdehnung sein, und wenn er auskühlt, wird die Zusammenziehung im Verhältniß zur Verminderung seiner Temperatur stehen.



Die Eigenschaft der Wärme, feste Körper, insbesondere Metalle, auszudehnen, wird sehr mit Vortheil zu praktischen Zwecken benutzt. So erhitzen die Böttcher die eisernen Reifen beträchtlich, bevor sie sie um das Faß schlagen, dessen Dauben dann durch ihre Zusammenziehung, wenn

sie auskühlen, fest aneinander gehalten werden. Auch die Schmiede nageln den eisernen Reif fast glühend an das hölzerne Rad eines Wagens, und so wie das Metall sich beim Auskühlen zusammenzieht, heftet es die Theile fest aneinander. Die Ausdehnbarkeit und das Zusammenziehen von Eisen als Wirkung der Temperatur verlangt die besondere Aufmerksamkeit aller Architekten und Ingenieure, besonders da man dieses Metall jetzt so häufig statt Holz für Dächer, Pfeiler, Bogen und zu andern Zwecken verwendet. Auf die Veränderung der Dimensionen bei Balken und Trägern von Metall in Folge der Abwechselung von Wärme und Kälte zu verschiedenen Jahreszeiten sollte stets die gebührende Rücksicht genommen werden. An den eisernen Bögen der von dem verstorbenen John Rennie über die Themse geführten Brücke veranlassen die äußersten Veränderungen der atmosphärischen Temperatur zu verschiedenen Zeiten einen Unterschied der Höhe, welcher fast einen Zoll beträgt.

Ein interessantes Beispiel des Einflusses der Wärme auf die Dimensionen fester Körper gab die zu Paris vor mehrern Jahren angewandte Methode, den sich neigenden Mauern einer Galerie in der Abtei St. Martin, jetzt das Conservatorium der Künste und Gewerbe, ihre perpendikulaire Richtung wieder zu geben. Das Gewicht des Daches hatte die Seitenmauern des Gebäudes nach Außen gedrängt und Besorgnisse wegen eines Einsturzes erregt, da verfuhr Molard folgendermaßen, um diese Gefahr zu entfernen: Mehrere Löcher wurden in den einander gegenüberstehenden Mauern angebracht und eiserne Stangen durchgetrieben, welche sich quer über die Galerie erstreckten, so jedoch, daß ihre Extremitäten sich außerhalb der Mauern befanden, und an diese vorragenden Theile wurden starke eiserne Platten, oder vielmehr große, breite Hülsen angeschraubt. Nachdem je die zweite Stange mittels mächtiger Lampen erhitzt und deren Länge vermehrt worden war, wurden die dadurch vorgerückten Hülsen dicht an die Mauern geschraubt, worauf man die Stangen auskühlen ließ. Die

mächtige Zusammenziehung der Stangen brachte die Mauern des Gebäudes einander näher, und nachdem man diesen Proceß auch mit den Zwischenstangen gemacht und mehre Male wiederholt hatte, wurde den Mauern nach und nach ihre perpendiculaire Richtung dauerhaft wieder gegeben und dadurch die von ihrem Weichen besorgte Gefahr entfernt.

Muschenbroek ermittelte, daß die Wärme nicht nur die Metalle, sondern auch verschiedene Arten von Steinen, Kalk, Ziegel, Glas ausdehne. Solche Substanzen müssen aber vollkommen frei von Feuchtigkeit sein, sonst veranlaßt die Zunahme der Temperatur Zusammenziehung der Körper, weil die Feuchtigkeit verdunstet. So erhält das Holz zuweilen eine Zunahme der specifischen Schwere durch das Trocknen. Aus einigen von Barlow erwähnten Experimenten, um das Gewicht verschiedener Holzgattungen bei verschiedenen Graden von Trockniß zu ermitteln, ergibt sich, daß in manchen Fällen eine beträchtliche Vermehrung des specifischen Gewichts stattfindet. Ein Stück Tannenholz aus Riga, 11 Zoll dick, verlor ein Viertel, und die Zunahme des Gewichts eines Kubikfußes stieg von 546 Unzen auf 562; ein Stück amerikanische Pechtanne, 7½ Zoll dick, verlor ein Achtelzoll, und die Zunahme des Gewichts eines Kubikfußes stieg von 518 auf 524; ein Block Sprossenfichte (spruce spar) von Halifax, 5½ Zoll dick, wurde auf 5⅜ reducirt, und der Unterschied der specifischen Schwere war 541 zu 554; ein Block von kanadensischem Fichtenholz, 4½ Zoll dick, verlor ⅛ Zoll, und der Unterschied der specifischen Schwere oder das Gewicht eines Kubikfußes verhielt sich wie 485 zu 512; in den meisten andern Fällen aber war der Verlust des Gewichts im Verhältniß größer als die Veränderung des Umfangs*). Die Wirkung der Temperatur auf die Ausdehnung und Zusammenziehung des Glases ist Gegenstand der

*) S. Encyclop. Metropol. — Mixed Sciences, vol. I p. 186.

täglichen Beobachtung, und eine Quelle häufiger Unfälle. Obschon der Grad der Ausdehnung des Glases, bei was immer für einer gegebenen Temperatur, viel unbeträchtlicher ist als bei den Metallen, mit Ausnahme von Platina, so wird doch das Glas wegen der Unregelmäßigkeit der Wirkung leicht durch die plötzliche Anwendung von Wärme zerbrochen. Trinkgläser springen sehr leicht, wenn man plötzlich Wasser, das fast bis zum Siedepunkte erhitzt ist, hineingießt, und diese Gefahr vermehrt sich im Verhältniß zur Dicke des Glases: denn da diese Substanz die Hitze nur langsam zuläßt, wird die innere Oberfläche durch das heiße Wasser früher erhitzt und ausgedehnt als die äußere, und diese unregelmäßige Ausdehnung ist die Ursache des Brechens des Glases. So geschieht es auch, daß die Glasröhren bei Öl- und Gaslampen sehr leicht zu Grunde gehen. Cadet de Vaux führt an, daß die Gefahr des Springens beseitigt werden kann, wenn man mit einem Diamant nur ganz kleine Ritze am Fuß der Röhre macht; in einem Etablissement, wo sechs Lampen brannten, hatte man diese Vorsicht angewendet, und im Laufe von neun Jahren war auch nicht eine Röhre in Folge der Hitze gesprungen. Wenn man bei kaltem Wetter eine Weinflasche in die Nähe des Feuers setzt, wird sie zuweilen springen, besonders wenn ein kalter Luftzug auf die eine Seite der Flasche weht, während die andere Hitze empfängt; ebenso kann der Glascylinder einer Elektrisirmaschine entzwei gehen oder verdorben werden, wenn man denselben unvorsichtigerweise in eine ähnliche Lage bringt.

Von der relativen Expansibilität verschiedener Metalle hängt die Operation der compensirenden Pendeln ab, die zu Chronometern und astronomischen Uhren gebraucht werden *).

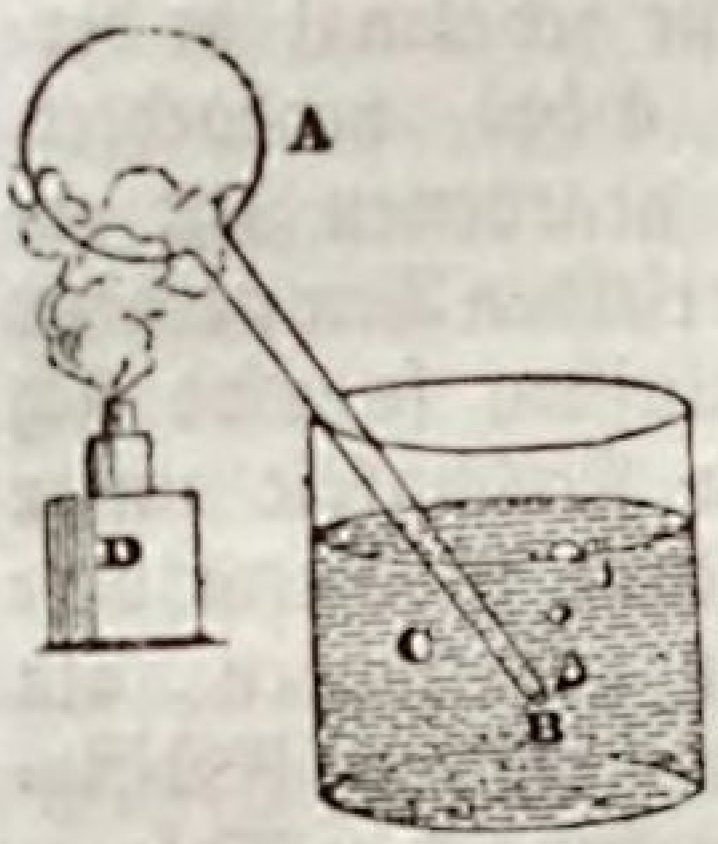
Der Einfluß der Wärme als erweiternde oder ausdehnende Kraft ist bei den flüssigen Körpern weit größer als

*) S. „Anleitung zum Selbststudium der Mechanik", S. 78.

bei den festen. Der Grund jedoch dieses Einflusses ist bei verschiedenen Flüssigkeiten verschieden; so wird Äther schneller ausgedehnt als Weingeist, Weingeist schneller als Wasser, Wasser schneller als Quecksilber. Davon kann man sich leicht durch ein Experiment überzeugen, wenn man die Kugel einer großen Thermometerröhre je mit diesen verschiedenen Flüssigkeiten füllt, eine Lampe jedesmal in derselben Entfernung unterhält und die Höhe beobachtet, welche jede dieser Flüssigkeiten in einer gegebenen Zeit erreicht. Da verschiedene Flüssigkeiten bei derselben Temperatur verschiedene Grade von Ausdehnung zulassen, so wird sich die Ausdehnbarkeit einer und derselben Flüssigkeit unter verschiedener Veränderung der Temperatur in einem verschiedenen Verhältnisse vermehren oder vermindern, als dasjenige ist, wornach sich die Ausdehnung anderer Flüssigkeiten richtet. Diese unregelmäßige Wirkung der Wärme bemerkt man besonders bei Flüssigkeiten, die bei einem vergleichungsweise niedrigen Grade der Temperatur kochen, wie dies mit dem Wasser der Fall ist; während das Quecksilber, welches einen großen Grad von Hitze fordert, um zum Kochen oder Verdunsten gebracht zu werden, ziemlich dasselbe Quantum von Ausdehnung durch die Hinzufügung einer gegebenen Quantität von Wärme erleidet, es möge auf einer hohen oder niedrigen Temperatur stehen; daher auch seine Nützlichkeit für Werkzeuge zum Messen der Wärme.

Der Einfluß der Temperatur auf die Dimensionen luftförmiger Körper, sowol der permanenten als der nicht permanenten, kann durch das einfache Experiment dargethan werden, daß man eine Blase halb mit Luft füllt, sie luftdicht verbindet und an das Feuer hält, worauf sie sich vollkommen ausdehnen wird; taucht man sie aber in diesem Zustande in kaltes Wasser, so wird sich die Luft an Umfang vermindern und die Blase wieder runzelig werden. Wenn eine solche Blase sehr dünne ist, so bildet sie eine Art Luftballon, welcher, wenn erhitzt, zur Decke eines hohen Zimmers emporsteigt, und wieder nie-

derfällt, sowie die specifische Schwere der Masse durch die allmälige Auskühlung der eingeschlossenen Luft unter diejenige eines gleichen Volumen der umgebenden Luft sinkt. Die Ausdehnbarkeit der Luft mittels der Wärme läßt sich auch leicht durch den in der Randfigur abgebildeten Apparat darthun.



Dieser Apparat besteht aus einer langen Glasröhre A B, an dem einen Ende eine Kugel, an dem andern offen, und letzteres wird in den Wasserkrug C getaucht; wenn man nun den Kolben mittels der Lampe D erwärmt, so wird sich die Luft in den Röhren ausdehnen, in großen Blasen durch die Öffnung B entweichen und durch das Wasser im Kruge aufsteigen. Wenn man die Lampe wegnimmt, nachdem eine beträchtliche Menge der eingeschlossenen Luft ausgetrieben worden ist, wird statt derselben das Wasser in den Röhren aufsteigen, nach Maßgabe als dieselbe auskühlt. Hält man nun die Lampe wieder in einer größern Entfernung als zuvor an den Kolben, wird sich die eingeschlossene Luft abermals ausdehnen und das Wasser in der Röhre niederdrücken, und so kann man bewirken, daß die Flüssigkeit bald steigt, bald fällt, je nachdem man den Kolben abwechselnd erhitzt und wieder auskühlen läßt.

Es ist von Wichtigkeit, zu bemerken, daß Luftarten, Gase und Dämpfe durch gegebene Quantitäten von Wärme sämmtlich gleich afficirt werden, das heißt, sie dehnen sich nicht nur alle in demselben Verhältniß bei gewissen Graden von Temperatur aus, sondern es ist auch die Schnelligkeit ihrer Ausdehnung bei jedem Zuwachs von Temperatur gleichförmig. In dieser Beziehung weichen die gasförmigen Körper von den festen und flüssigen ab, denn während die beiden letztern in ihren Verhältnissen zur Wärme als ausdehnende Kraft die größte Verschiedenheit zeigen, erleiden die erstern stets in genauem Verhältniß zu

dem Grad der Temperatur, welchem sie ausgesetzt sind, Ausdehnung.

Wärmemesser.

Der allgemeine Einfluß der Wärme auf die Dimensionen der Substanzen bietet eine bequeme Methode dar, die relative Menge der Wärme zu schätzen, welche jede gegebene Wirkung hervorbringen wird; denn da eine gewisse Zunahme von Temperatur stets von einem gewissen Grad der Ausdehnung des Körpers begleitet ist, so folgt, daß, wenn wir den Grad der Ausdehnung in einem gegebenen Falle genau zu bestimmen im Stande sind, wir daraus auf den Betrag der Temperatur schließen können. Auf diesem Grundsatze beruht die Nützlichkeit jener physikalischen Instrumente, welche Thermometer *) und Pyrometer **) heißen. Unter jenen Instrumenten befindet sich dasjenige, welches häufig den Barometer begleitet, und durch die Ausdehnung des Quecksilbers oder irgend einer andern Flüssigkeit die relative Temperatur der Atmosphäre zu verschiedenen Zeiten und Plätzen andeutet. Der Quecksilberthermometer besteht wesentlich aus einer Glasröhre mit einer Kugel an dem einen Ende, welche mit Quecksilber in einer gewissen Temperatur gefüllt, und dann das offene Ende, wenn die Röhre voll ist, hermetisch geschlossen wird, so daß später keine Luft mehr eindringen kann. Sowie die Röhre und das Quecksilber allmälig auskühlen, zieht sich das eingeschlossene Fluidum zusammen, sinkt und läßt oben einen leeren Raum, den es wieder ausfüllen kann, wenn es durch die Hitze wieder ausgedehnt wird. Einer solchen Röhre muß man eine Skale beifügen, um

*) Von *Θέρμος* heiß, oder *Θέρμη* Wärme, und *Μέτρον* Maß.

**) Von *Πῦρ* Feuer, und *Μέτρον*.

die Höhe anzuzeigen, auf welcher das Wasser bei der Temperatur des gefrierenden Wassers steht, ferner diejenige, welche es an irgend einem andern Punkt, wie dem, wo das Wasser siedet, erreicht, und den Betrag der Ausdehnung in regelmäßigen Zwischenräumen zwischen diesen beiden Punkten. So ist in dem sogenannten hunderttheiligen Thermometer, welcher jetzt in Frankreich im Gebrauch ist, der Gefrierpunkt auf der Skale mit Null (0°) und der Siedpunkt des Wassers mit 100° bezeichnet; der Zwischenraum ist daher in hundert regelmäßig bezeichnete und numerirte Theile getheilt, und da die Skale zu jeder gegegebenen Ausdehnung, es sei über oder unter 0°, geführt werden kann, so vermag man jeden Grad der Temperatur, wenigstens zwischen dem Gefrier- und Siedpunkt des Quecksilbers, zu ermitteln: da nun diese metallische Flüssigkeit eine bei weitem intensivere Kälte voraussetzt als das Wasser, erfordert es auch einen viel höhern Grad von Hitze, damit es siede; die Skale kann daher nach beiden Richtungen ausgedehnt werden. Quecksilber friert bei 40° oder 40 hunderttheiligen Graden unter Null oder dem Gefrierpunkt des Wassers, und es siedet oder wird sublimirt in vacuo, bei + 350°, das heißt, es ist eine um 250 hunderttheilige Grade höhere Temperatur erforderlich, um es zum Sieden zu bringen, als beim Wasser dazu nothwendig ist.

Jedes Fluidum kann kraft seiner relativen Ausdehnung und Zusammenziehung gebraucht werden, um die Temperatur, welcher man es aussetzt, zu bezeichnen, und so hat man Schwefelsäure, Wasser, Alkohol, Öl, Luft verschiedenfältig angewendet, um Thermometer zu verschiedenen Zwecken zu verfertigen. Die Erfindung dieses nützlichen Instruments fällt in die erste Hälfte des 17. Jahrhunderts, und die zuerst angewendete Art, die Wärme zu messen, war die Beobachtung der Ausdehnung in einer Glasröhre eingeschlossener Luft. Es ist nicht genau bekannt, wer zuerst auf diese Idee kam; doch verdienen unter Denjenigen, welche sich die Ehre davon zuschreiben, Cornelius

Drebbel aus Alkmaar in Holland und Santo Santorio, Professor der Medicin zu Padua, genannt zu werden, und es ist nicht unwahrscheinlich, daß diese beiden scharfsinnigen Männer ganz unabhängig von einander auf diese Methode, die relative Wirkung der hohen oder niedrigen Temperatur zu ermitteln, verfallen sind. Das ist jedenfalls gewiß, daß Drebbel, welcher unter der Regierung Karls I. einen Theil seines Lebens in England zubrachte, die Kenntniß des Thermometers in diesem Lande zuerst eingeführt hat. Aber der ursprüngliche Thermometer war ein sehr unvollkommenes Instrument. Er bestand aus einer Glasröhre mit einem aufwärts gekehrten Kolben, der untere Theil der Röhre war zum Theil mit einer gefärbten Flüssigkeit gefüllt und in eine kugelförmige, auch zum Theil mit derselben Flüssigkeit gefüllte Flasche umgekehrt, so daß der Theil der Luft, welcher in dem Kolben und dem obern Theil der Röhre eingeschlossen war, dem Druck der atmosphärischen Luft ausgesetzt blieb, folglich die Wirkung der Wärme auf derselben nicht genau ermittelt werden konnte. Das Instrument taugte in der That nur dazu, im Allgemeinen eine Schätzung des Einflusses der Temperatur auf den Umfang der Luft, ziemlich so, wie dies in dem kurz zuvor beschriebenen Apparat gezeigt wird *), anzugeben. Diese Thermometer wurden durch den französischen Physiker Amontons verbessert; auch Sir John Leslie, Dr. Wollaston und Andere haben verschiedene Modificationen des Luftthermometers angenommen, weil er ein zartes Instrument ist, um sehr geringe Veränderungen der Temperatur anzuzeigen; aber auf diesen eben erwähnten Zweck bleibt er wegen der äußersten Empfindlichkeit der Luft für den Einfluß der Wärme beschränkt.

Der größte Fehler bei den frühern Thermometern war der Mangel einer regelmäßigen Skale der Temperatur mit festen Punkten, um ein Vergleichsmittel zwischen den Wirkun-

---

*) Siehe S. 25.

gen der Wärme unter verschiedenen Umständen, oder in ihrer Operation auf verschiedene Körper hervorzubringen. Boyle schlug den Gerinnpunkt des Anisöls zu diesem Zwecke vor; Dr. Robert Hooke dagegen empfahl mit mehr Angemessenheit den Gefrierpunkt des destillirten Wassers, und Sir Isak Newton, der dies als den Anfang seiner Skale oder den Nullpunkt annahm, ermittelte, daß 34° den Siedpunkt des Wassers bezeichnen würde, wie dies durch die relative Expansion des Leinöls, dessen er sich zu Füllung seines Thermometers bediente, angedeutet wurde *). Die Entdeckung zweier fester Punkte für die Thermometerskale trug ungemein zur Verbesserung dieses Instruments bei; allein das Newton's war unvollkommen wegen der Natur der eingeschlossenen Flüssigkeit und der unbequemen Länge der Grade der Skale. Es bestrebten sich daher mehrere Männer von Fach, durch verschiedene Methoden die Nützlichkeit und Genauigkeit dieses Instruments zu vervollkommnen. Reaumur in Frankreich erfand einen Thermometer, welcher mit gefärbtem Weingeist gefüllt wurde und eine Skale hatte, die zwischen dem Gefrier- und Siedpunkt des Wassers 80 Grade zählte. Da aber der Weingeist schon bei einer niedrigern Temperatur kocht als das Wasser, folglich keinen Grad von Hitze anzeigen konnte, welcher seinen eigenen Siedpunkt überstieg, wurde statt seiner Quecksilber gewählt, und ein solcher Quecksilberthermometer mit Reaumur's Skale war in Frankreich bis zur Revolution üblich, wo er mit dem bereits erwähnten hunderttheiligen Thermometer vertauscht wurde.

Die Anwendung des Quecksilbers, als die tauglichste Flüssigkeit für den Thermometer, wird gewöhnlich Fahrenheit, einem geborenen Danziger, zu Amsterdam als physikalischer Instrumentmacher ansässig, zugeschrieben; seine Instrumente hatten das Verdienst der größten Genauigkeit, sie wurden daher viel gesucht, und sein Name blieb jenem

---

*) S. Cotes' „Hydrostat. Lect. Appendix.“, No. II.

Thermometer, der noch jetzt in England, Holland und den Vereinigten Staaten von Nordamerika allgemein üblich ist. Nach Boerhave's Angabe jedoch scheint die Verbesserung des Thermometers, insofern sie dessen Füllung mit Quecksilber und die nach Fahrenheit benannte Skale betrifft, vielmehr dem dänischen Naturforscher Olaus Roemer, welchem man auch die Entdeckung der Geschwindigkeit des Lichts verdankt, zugeschrieben werden zu müssen *). Die Eigenthümlichkeit dieser Skale besteht darin, daß sie nicht mit dem Gefrierpunkt des Wassers, sondern viel tiefer anfängt. Man führt gewöhnlich an, daß Fahrenheit den Punkt, von welchem aus er die Eintheilung seiner Skale begann, dadurch erhielt, indem er künstliche Kälte mittels Vermischung von Salz und Eis hervorbrachte; nach den eben citirten Quellen aber war der Nullpunkt Fahrenheit's oder vielmehr Roemer's von dem niedrigsten Grade der Temperatur oder der größten Kälte, welche man in Island erlebt hatte, dazu in der irrigen Voraussetzung genommen worden, daß dies aller Wahrscheinlichkeit nach die niedrigste Temperatur sei, welche je Gegenstand der physikalischen Forschungen werden konnte.

Unter den zahlreichen, von scharfsinnigen Männern vorgeschlagenen Modificationen des Thermometers zum Behuf der Anzeigung der Veränderungen der Temperatur, verdient noch insbesondere jene des Delisle, Mitgliedes der Akademie der Wissenschaften zu Petersburg, erwähnt zu werden. Sein Thermometer unterscheidet sich wesentlich darin, daß seine Skale mit dem Siedpunkt des Wassers beginnt, und von da niederwärts gerechnet wird, wobei die Entfernung bis zum Gefrierpunkt in 150 Grade eingetheilt ist. Der Gebrauch dieses Thermometers ist fast nur auf das russische Reich beschränkt, wo er von den Gelehrten allgemein angenommen wurde.

Da der hunderttheilige Thermometer ursprünglich von

---

*) Boerhavii „Elementa Chemiae," t. I. p. 730.

Olaus Celsius von Upsala in Schweden erfunden wurde, und jene Fahrenheit's jetzt gewöhnlich zu Temperaturbeobachtungen in Frankreich und Großbritannien gebraucht werden, sich aber mehre ausgezeichnete Physiker bei ihren Forschungen der Thermometer Reaumur's und Delisle's bedient haben, so ist es erforderlich, Mittel anzugeben, um den relativen Werth der Grade der Temperatur nach jedweder dieser Skalen zu ermitteln und jede gegebene Zahl von Graden der einen Skale in die Grade jener Skale verwandeln zu können, mit welcher wir am vertrautesten sind.

Die folgende Tabelle gibt die correspondirenden Zahlen der verschiedenen Skalen Fahrenheit's, Reaumur's, Delisle's und Celsius' oder des hunderttheiligen Thermometers von einer Temperatur von zwölf Graden über dem Siedpunkt, Fahrenheit, bis 96 Grade unter Null.

Fahr.	Reaumur.	Delisle.	Hunderttheiliger Thermometer.	
224	$85\frac{3}{9}$	10	$106\frac{6}{9}$	
212	80	0	100	Siedpunkt des Wassers.
192	$71\frac{1}{9}$	$16\frac{4}{6}$	$88\frac{8}{9}$	
160	$56\frac{8}{9}$	$43\frac{2}{6}$	$71\frac{1}{9}$	
128	$42\frac{6}{9}$	70	$53\frac{3}{9}$	
96	$28\frac{4}{9}$	$96\frac{4}{6}$	$35\frac{5}{9}$	Blutwärme.
64	$14\frac{2}{9}$	$123\frac{2}{6}$	$17\frac{7}{9}$	
32	0	150	0	Gefrierpunkt des Wassers.
0	$14\frac{2}{9}$	$176\frac{4}{6}$	$17\frac{7}{9}$	
32	$28\frac{4}{9}$	$203\frac{2}{6}$	$35\frac{5}{9}$	
39	$31\frac{5}{9}$	$209\frac{1}{6}$	$39\frac{4}{9}$	Gefrierpunkt d. Quecksilbers.
64	$42\frac{6}{9}$	230	$53\frac{3}{9}$	
90	$54\frac{2}{9}$	$251\frac{4}{6}$	$67\frac{7}{9}$	Größter bekannter Kältegrad.
96	$56\frac{8}{9}$	$256\frac{4}{6}$	$71\frac{1}{9}$	

Hieraus folgt, daß 1° der Skale Fahrenheit's gleich ist $\frac{4}{9}$° Reaumur, $\frac{5}{6}$° Delisle und $\frac{5}{9}$° des hunderttheiligen Thermometers. Um daher irgend eine Zahl von Graden Reaumur's in correspondirende Grade Fahrenheit's zu verwandeln, muß die gegebene Zahl mit 9 multiplicirt und mit 4 dividirt werden; ist es eine Zahl über Null, muß 32 zu dem Produkt addirt werden, und das Facit wird den gesuchten Grad geben; ist es dagegen eine Zahl unter Null Reaumur und über Null Fahrenheit, das ist eine Zahl, kleiner als $14\frac{2}{9}$°, so muß das Produkt von 32 abgezogen werden; ist es aber eine Minuszahl über $14\frac{2}{9}$, so

muß 32 von dem Produkt abgezogen werden, um den gesuchten Grad zu erhalten. Auf dieselbe Weise kann man die Grade der hunderttheiligen Skale in Grade Fahrenheit's verwandeln, nur muß man die gegebene Zahl der hunderttheiligen Grade mit 9 multipliciren und mit 5 dividiren. Um die Grade Delisle's in Grade Fahrenheit's zu verwandeln, muß die gegebene Zahl mit 6 multiplicirt und mit 5 dividirt werden, und das von 212 abgezogene Facit wird die verlangte Zahl geben; wenn aber die Zahl unter Null Fahrenheit oder $176^{4}/_{6}$ Delisle ist, müssen 212 von dem Facit abgezogen werden; ist dagegen die gesuchte Zahl Delisle über Null, müssen 212 zu dem Facit gerechnet werden, um die gesuchte, den correspondirenden Grad Fahrenheit's ausdrückende Zahl zu finden.

Das Quecksilberthermometer ist das passendste Instrument, um was immer für einen Grad von Temperatur zwischen 644 Grad Fahrenheit, wo das Quecksilber siedet, und 39 Grad unter Null, wo es gefriert, zu messen. Für das Messen einer noch tiefern Temperatur dient ein Thermometer, welcher mit (durch die Alkanatwurzel) roth gefärbtem Alkohol gefüllt ist; denn wenn dieses Fluidum anders vollkommen rein ist, so friert es selbst bei einer viel niedrigeren Temperatur, als es der Gefrierpunkt des Quecksilbers ist, nicht.

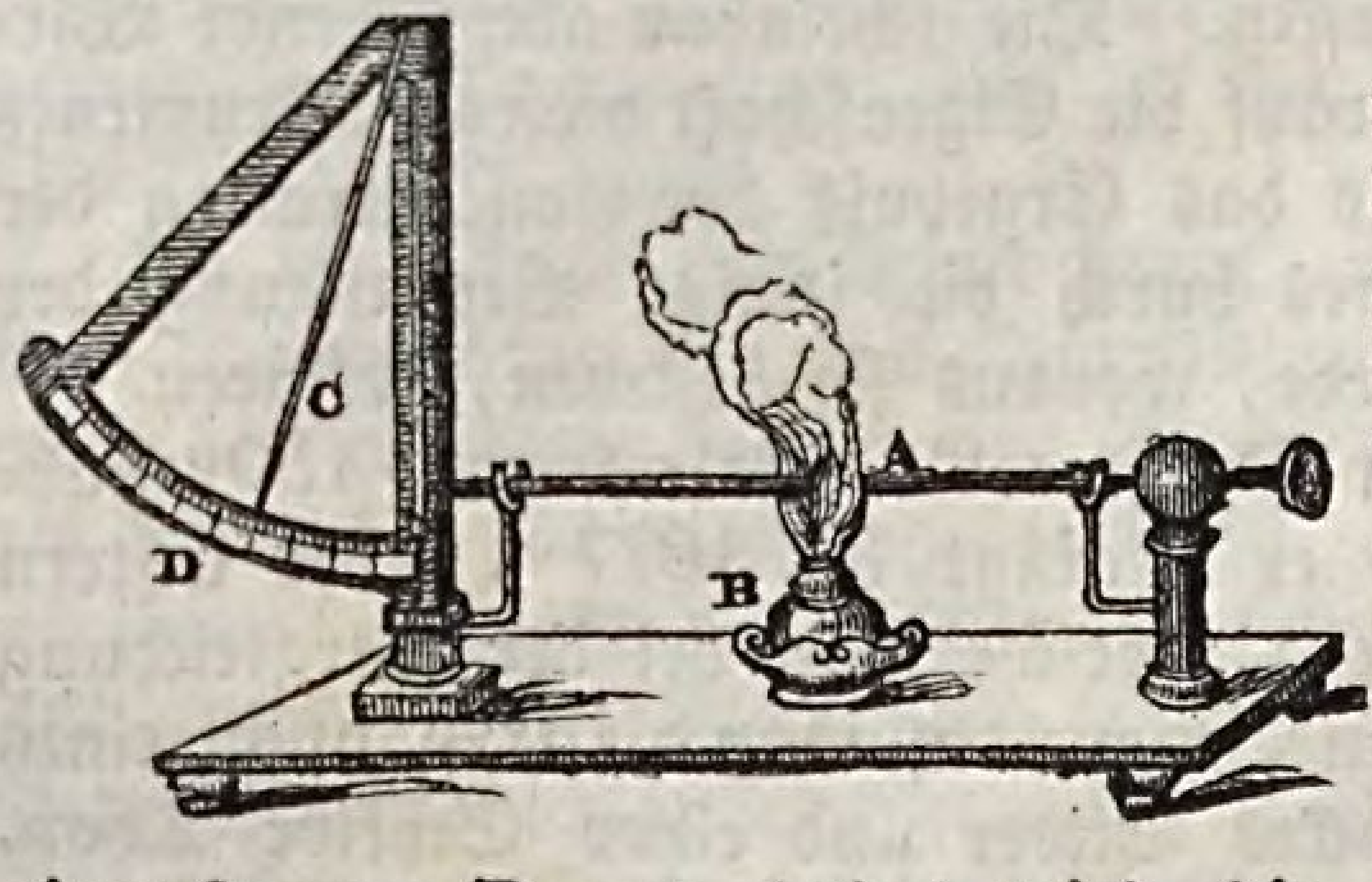
Da man keine Flüssigkeit kennt, welche bei einer höhern Temperatur, als das Quecksilber hat, verdunstet, so wird die Wirkung sehr hoher Grade von Hitze in der Regel durch die Veränderung der Masse, welche feste Körper erleiden, beurtheilt. Die Wärme pflegt Substanzen aller Art auszudehnen; Wedgwood jedoch beobachtete, daß feine Porzellanerde sich zusammenzieht, wenn man sie einer sehr großen Hitze aussetzt; bei weiterer Nachforschung fand man, daß Stücke reinen, wohl ausgetrockneten und in einen Ofen zum Glühen gebrachten Thons einen beträchtlichen Grad von Zusammenziehung darboten, welcher blieb, wenn sie wieder ausgekühlt waren, und da er ferner ausmittelte, daß die Zusammenziehung sich mit der Vermehrung der

Hitze mehrte, bis Verglasung statt fand, so verfiel er auf den Gedanken, einen Pyrometer zu fertigen, der aus einer Anzahl Stücken von bereitetem Thon in der Form kleiner abgeplatteter Cylinder, und einer Skale aus ¼ Zoll dicken und zwei Fuß langen Messingstäben bestand, welche auf eine Messingplatte befestigt waren, sich schief nach einwärts neigend, so daß sie an einem Ende etwas näher aneinander standen als am andern, und durch gleichweit von einander entfernte Grade, die bei dem weitern Ende anfingen bezeichnet. Da die Contraction der Thonscheiben permanent ist, so muß eine frische bei jedem Experimente genommen werden, welches gemacht wird, indem man eines oder mehrere Thonstücke der Hitze, deren Grad man ermitteln will, aussetzt; nachdem nun diese Thonscheiben erhitzt und wieder ausgekühlt sind, wird die stattgehabte Zusammenziehung gemessen, indem man die Scheibe zwischen die Messingstäbe, so weit es angeht, schiebt und dann die Veränderung des Umfangs mittels des auf der Skale angegebenen Grades bemerkt, denn alle Thonscheiben waren, bevor man sie der Hitze, die man prüfen will, aussetzt, so geformt worden, daß sie genau in den weitesten Theil der Skale passen. Die scheinbar abweichende Wirkung der Hitze, worauf die Eigenschaft dieses Instruments beruht, läßt sich als das Ergebniß der Concentration der Theilchen des Thones durch die innige Vereinigung der Thon- und Kieselerde, woraus sie bestehen, erklären.

Jeder Grad von Wedgwood's Skale kommt 130° Fahrenheit gleich, und er beginnt bei 1077°.5 der letztern Skale. Die Methode, welche man bei der Vergleichung beider Skalen befolgte, war, daß man die Expansion eines pyrometrischen Stückes Silber und einer Scheibe Thon, wie dieselbe relativ bei 50 und 212° Fahrenheit stattfindet, und bei höhern Temperaturen nach der Skale Wedgwood's beobachtete. Nachdem der Erfinder des Pyrometers dergestalt ein gemeinschaftliches Maß für die hohe Temperatur erhalten hatte, stellte er verschiedene Versuche über das Schmelzen der Metalle und anderer Gegenstände an, und

es ergab sich aus seinen Nachforschungen, daß die größte Hitze, die er je erprobte, von einem Luftschmelzofen (air-furnace) herrührte, und 160° Wedgwood gleich 21,877° Fahrenheit betrug. Es sind Zweifel aufgeworfen worden, ob die Zusammenziehung des Thons ein gleichförmiges Maß der Temperatur gebe; und die neuern Nachforschungen von Guyton Morveau und Daniell machen es sehr wahrscheinlich, daß Wedgwood seine Vergleichung der pyrometrischen und thermometrischen Skalen auf eine unrichtige Voraussetzung in Betreff des Schmelzpunktes des Silbers gründete. Daher kann man sich auf die Berechnungen, denen die mit seinem Pyrometer angestellten Experimente zum Grunde liegen, nicht gut verlassen, obschon dieses Instrument für das Bedürfniß des Töpfers sehr angemessen ist, weil es ihm das Mittel an die Hand gibt, die Hitze der Öfen mit hinreichender Genauigkeit für verschiedene Zwecke zu ermitteln.

Es sind verschiedene Pyrometer erfunden worden, welche nach verschiedenen Methoden mit größerer oder geringerer Genauigkeit die relative Ausdehnung von Stäben oder Draht von Eisen oder von andern Metallen messen.



Mehrere dieser Pyrometer sind nach dem der Randfigur zum Grunde liegenden Princip construirt. Eine Metallstange A kann nämlich so gelegt werden, daß, wenn sie durch die Hitze einer Lampe B ausgedehnt wird, die eine Extremität gegen einen Hebel drückt und dadurch einen Zeiger C auf einen in Graden eingetheilten Bogen D bewegt. Durch einen solchen Pyrometer kann die Wirkung der auf dieselbe Weise angewandten Hitze, für eine gegebene Zeit, auf Stangen verschiedenen Metalls von gleicher Länge und

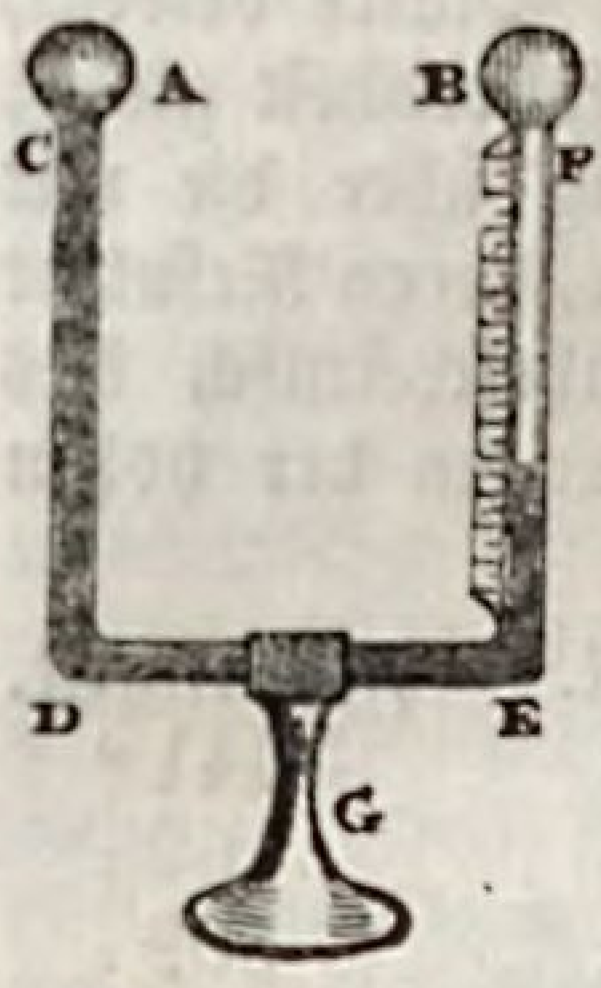
Durchmesser, ermittelt werden. Daniell fertigte einen Pyrometer, um die Expansion eines Stabes Platina zu messen, mit einem Zeiger, der sich auf einer Platte bewegt, welcher in 360 Grade, jeder 3 Graden Fahrenheit gleich, eingetheilt war. Er gab eine Abhandlung über die mit seinem Pyrometer angestellten Experimente, deren Resultat hier angegeben werden mag, da es wahrscheinlich das genaueste ist, welches wir über die Wirkungen der hohen Temperatur haben.

	Daniell.	Fahrenheit.
Schmelzpunkt des Zinns . . .	63°	441°
„ „ Wißmuths . .	66 „	462 „
„ „ Bleies . . .	87 „	609 „
Siedpunkt des Quecksilbers . .	92 „	644 „
Schmelzpunkt des Zinks . . .	94 „	658 „
Glut, bei hellem Tageslicht sichtbar	140 „	980 „
Hitze eines gewöhnlichen Kaminfeuers	163 „	1141 „
Schmelzpunkt des Messings . .	267 „	1869 „
„ „ Silbers . . .	319 „	2233 „
„ „ Kupfers. . .	364 „	2548 „
„ „ Goldes . . .	330 „	2590 „
„ „ Gußeisens . .	497 „	3479 „

Pyrometer, oder vielmehr metallische Thermometer, um mit großer Genauigkeit kleine Veränderungen der Temperatur zu messen, sind von Zeitgenossen, insbesondere von Friedrich Hourint aus Paris und Holzmann aus Wien, verfertigt worden.

Um delikate Experimente in Bezug des Einflusses der Temperatur anzustellen, können am vortheilhaftesten diejenigen Thermometer verwendet werden, wo die Wirkung der Wärme durch die Ausdehnung der in eine kleine Röhre mit beigegebener Skale eingeschlossenen Luft angezeigt wird. Unter den neuern und nützlichen Formen dieses Instruments ist die wichtigste der Differentialthermometer, welcher von Sir John Leslie erfunden und in seinem Werke „Ex-

perimental Inquiry into the Nature of Heat" beschrieben worden ist.



Er besteht aus zwei kleinen Glaskugeln A und B, welche durch die, zweimal in einem rechten Winkel gekrümmte und von dem hölzernen Fuß G getragene Röhre CDEF verbunden sind. In der Röhre befindet sich eine kleine Quantität farbiger Schwefelsäure; wenn nun eine erhitzte Substanz der Kugel A genähert wird, so fällt die eingeschlossene Flüssigkeit und steigt an der entgegengesetzten Seite, wo ihre relative Höhe, welche durch die der Röhre EF beigefügten Skale angegeben wird, den Grad der Ausdehnung der Luft in der Kugel und Röhre ACD anzeigen wird. Einer der Hauptvortheile bei dem Gebrauch dieses Instruments besteht darin, daß es wegen der Veränderungen in der Temperatur der Atmosphäre keinen Veränderungen unterworfen ist; denn die Wärme der umgebenden Luft muß auf beide Glaskugeln gleich wirken; wenn daher ein erwärmter Gegenstand nur einer Kugel genähert wird, so kann die ganze durch jene hervorgebrachte Wirkung sich nur durch das verschiedene Maß der Ausdehnung der eingeschlossenen Luft zeigen; oder wenn ein kalter Gegenstand genähert wird, so zeigt sich die Wirkung ebenfalls durch die verschiedene Contraction, welche stattfindet, weswegen auch dieses Instrument ein Differentialthermometer genannt worden ist.

Der wirkliche Betrag der Ausdehnung verschiedener Körper bei gleicher Temperatur ist, wie bereits bemerkt worden, keineswegs gleich. Nach neuern Versuchen Herbert's in Betreff der Ausdehnung fester Körper durch die Wärme hat sich ergeben, daß Stangen von Glas und verschiedenen Metallen, welche bei dem Gefrierpunkte des Wassers gleiche Ausdehnung hatten, bei dem Siedpunkte eine verschiedene annahmen. Gesetzt nun, ihre Longitudinaldimensionen wären bei 32 Grad Fahrenheit in 100,000

gleiche Theile theilbar, so wurde jede Substanz bei 212 Graden in folgenden Verhältnissen vermehrt:

Platina	um	85	Theile,
Glas	"	86	"
Gold	"	94	"
Eisen	"	107	"
Kupfer	"	156	"
Messing	"	172	"
Silber	"	189	"
Zinn	"	212	"
Blei	"	262	"

Auch die Flüssigkeiten dehnen sich bei verschiedener Temperatur ungleich aus, und verschiedene Flüssigkeiten werden von derselben Temperatur verschieden afficirt. Die unregelmäßige Ausdehnung der Flüssigkeiten hat Einfluß auf die Ergebnisse der mit dem gewöhnlichen Thermometer angestellten Versuche; da indessen das Quecksilber in Betreff seiner Ausdehnung mehr Gleichförmigkeit hat als andere Flüssigkeiten, namentlich Wasser oder Alkohol, so ist es besser als sie zu thermometrischen Forschungen geeignet. Denn je leichter Flüssigkeiten unter dem Einflusse der Wärme verdunsten, desto größer muß ihre Ausdehnung sein, wenn sie ohne Veränderung der Form stattfindet; Äther und Alkohol dehnen sich daher bei relativ höhern Temperaturen im Verhältniß mehr aus als bei niedrigen, wogegen das Quecksilber, das einer sehr großen Hitze bedarf, um zum Kochen gebracht zu werden, sein Maß der Ausdehnung viel langsamer vergrößert.

Die folgende Tabelle der Ausdehnung der Flüssigkeiten verdankt man den Forschungen Dalton's, welcher ermittelte, daß eine Erhöhung der Temperatur vom Gefrier- bis zum Siedpunkte des Wassers eine Zunahme des Umfangs in folgenden Verhältnissen bewerkstelligt.

Quecksilber wie 1 zu	0.0200
Wasser " " "	0.0466
Mit Kochsalz gesättigtes Wasser .	0.0500

Schwefelsäure	wie 1 zu	0.0600
Salzsäure	= = = ...	0.0600
Terpentinöl	= = = ...	0.0700
Äther	= = = ...	0.0700
Ätherische Öle	= = = ...	0.0800
Alkohol	= = = ...	0.1100
Salpetersäure	= = = ...	0.1100

Luftförmige Flüssigkeiten dehnen sich alle, wie schon bemerkt worden, gleich aus, und erleiden unter verschiedenen Temperaturen gleichförmige Grade der Ausdehnung. Diese Eigenschaft der Gase und Dünste rührt daher, daß sie keine Cohäsion haben, die Wärme mithin auf sie einfach und unabhängig wirkt, ohne durch eine, Widerstand leistende Kraft in dieser Wirkung modificirt zu werden, wie dies bei festen und flüssigen Körpern der Fall ist. Aus den Experimenten Gay Lussac's in Frankreich und Dalton's in England ergibt sich, daß alle elastischen Fluida, Gase wie Dünste, wenn sie von der Temperatur 32 Grad Fahrenheit bis 212 erhitzt werden, fast im Verhältniß von 100 zu 127.5 ausgedehnt werden; oder 100 Kubikzoll Gas beim Gefrierpunkte des Wassers werden, wenn man sie bis zum Siedpunkte erhitzt, in ihrem Umfange auf 137½ Zoll vermehrt werden. Daher wird die Ausdehnung des Umfangs für jeden Grad des hunderttheiligen Thermometers 0.375, oder wenn man den Umfang bei Null als Einheit rechnet, wird die Vermehrung für jeden Grad 0.00375 betragen. Dalton schätzt die Zunahme des Umfangs für jeden Grad auf 0.00372, was ungefähr 0.00208 für jeden Grad Fahrenheit gleichkommt.

Daraus scheint sich zu ergeben, daß die Dichtigkeit der Substanzen in einem gewissen Verhältnisse zu ihrer Temperatur stehe und durch die Kälte vermehrt und durch die Hitze vermindert wird, oder mit andern Worten, daß sie, wenn man sie einer niedrigen Temperatur aussetzt, sich zusammenziehen, und dagegen bei einer höhern ausdehnen. Demnach müßte bei den festen Körpern das Maximum der

Dichtigkeit bei der niedrigsten Temperatur, welche erzielt werden kann, stattfinden. Und dasselbe möchte von flüssigen Körpern behauptet werden, welche sich durch das Gefrieren in feste verwandeln. Dies findet aber bei frierenden Flüssigkeiten nicht immer statt; insbesondere lehrt die tägliche Erfahrung, daß sich Wasser beim Gefrieren ausdehnt, denn Gefäße, in welchen Wasser gefriert, bersten häufig, und das Eis schwimmt auf dem Wasser, weil es eine geringere specifische Schwere hat als dieses. Aus den Nachforschungen Deluc's und Anderer weiß man, daß reines Wasser bei 40 Grad Fahrenheit die größte Dichtigkeit hat, bei zunehmender Kälte aber dehnt es sich aus, bis es den Gefrierpunkt bei 32 Grad erreicht hat, so daß das Eis bei 32 Grad dieselbe specifische Schwere hat als Wasser bei 48 Grad. Wenn nicht diese Eigenschaft wäre, würden Teiche und Seen bei heftiger Kälte nicht blos überfrieren, wie dies im Winter gewöhnlich der Fall ist, sondern sie müßten ganze Massen von festem Eise werden. Denn wenn einmal Eis gebildet wird, müßte dieses, wenn es specifisch schwerer wäre als das Wasser, zu Boden sinken, und da bleiben und durch frische niedersinkende Theile vermehrt werden, so lange der Frost dauert; aber die geringere specifische Schwere des Eises bewirkt, daß es auf der Oberfläche des Wassers bleibt und dieses in einem gewissen Grade vor der Berührung mit der kalten Luft schützt, weswegen denn auch das Gefrieren nach unten langsamer von Statten geht.

Diese merkwürdige Eigenschaft der Flüssigkeiten in der Nähe ihres Gefrierpunkts ist keineswegs, wie man angeführt hat, dem Wasser allein eigenthümlich, denn andere aquöse Flüssigkeiten unterliegen derselben Erscheinung; ja man hat Grund, zu glauben, daß metallische und andere Substanzen, welche man zum Schmelzen gebracht hat, sich beim Auskühlen nur bis zu einem gewissen Punkte zusammenziehen, sich dann aber gleich dem Wasser ausdehnen, so daß die Dichtigkeit einer eben wieder festgewordenen Metallmasse etwas geringer ist als sie einige Grade über

jenem Punkte war, wo sie die feste Form wieder angenommen hat. Reaumur führt an, daß Eisen, Wismuth und Spießglanz dichter sind, gerade bevor sie wieder fest werden, als nachher, und er bemerkt, daß deswegen in Eisen gegossene Figuren so correct sind, weil die Ausdehnung des Metalls beim Kühlen es in die geringsten Vertiefungen des Modells eintreibt. Der Schwefel zeigt dieselbe Eigenschaft, wenn man ihn zu Abdrücken von Medaillen benutzt, und es ist wahrscheinlich, daß alle Körper, welche durch Hitze geschmolzen werden können, bei dem Solidificationspunkte weniger Dichtigkeit haben als unmittelbar vor dem Beginn dieses Processes. Was die Ursache dieser Erscheinung betrifft, so ist die wahrscheinlichste Vermuthung die des De Maivan, welcher in seiner Abhandlung über das Eis die Ausdehnung des frierenden Wassers der neuen Anordnung seiner Theilchen nach den Regeln der Krystallisation zuschreibt, so daß die kleinen unsichtbaren Zwischenräume zwischen den Molleculen der Masse im Eise größer und zahlreicher sind als bei dem Wasser auf 8 Grad über dem Gefrierpunkt. Dieser interessante Gegenstand erfordert jedoch weitere Nachforschung.

Von der gebundenen Wärme und ihrem Einflusse auf die Form der Körper.

Der Thermometer zeigt die absolute Menge Wärme, welche ein Körper erhalten mag, durchaus nicht an, sondern nur den Betrag der freien oder wahrnehmbaren Wärme, welche einen gewissen Grad von Ausdehnung in einer Quecksilbersäule hervorbringen kann. Wenn eine Quantität Eis in der Temperatur von 32 Grad Fahrenheit in einen Krug, der in einem beträchtlich erhitzten Becken voll Wasser steht, gelegt wird, so muß das Eis nach und nach schmelzen, weil es durch die Seiten des Kruges die Hitze des umgebenden Wassers absorbirt; allein obschon es successive Theile Wärme enthält, bringen

diese doch keine Wirkung auf einen im Kruge befindlichen Thermometer hervor, vielmehr wird das Quecksilber in demselben auf dem Gefrierpunkte bleiben, bis das ganze Eis geschmolzen ist. Es wird daher von dem Eis während des Aufthauens eine Quantität Wärme absorbirt, welche mit der Flüssigkeit vereint und zur sogenannten gebundenen Wärme wird, die mittels des Thermometers nicht ermittelt werden kann. Verschiedene Körper erheischen verschiedene Wärmequantitäten, um zu derselben thermometrischen Temperatur erhöht zu werden, oder wenigstens werden sie, wenn man sie derselben Temperatur aussetzt, verschieden afficirt. Wenn man ein Quart Wasser und ein Glas Öl aus einem Zimmer, worin das Thermometer 40 Grad Fahrenheit zeigt, in ein anderes auf 80 Grad erwärmtes bringt, so werden beide Flüssigkeiten nach und nach dieselbe Temperatur annehmen, wie dies der Thermometer beweisen wird. Aber das Öl wird die Temperatur von 80 Grad viel früher erreichen als das Wasser, und daraus hat man gefolgert, daß eine geringere Menge Wärme erfordert wird, um bei Öl eine Vermehrung der Temperatur um 40 Grad hervorzubringen als beim Wasser. Und so wie das Öl unter gleichen Umständen früher erhitzt wird als das Wasser, kühlt es auch schneller aus als das letztere, wie man erfährt, wenn man das eben erwähnte Experiment umgekehrt anstellt.

Wenn gleiche Quantitäten desselben Körpers zu verschiedenen Temperaturen vermengt werden, so wird die Mischung die mittlere Temperatur zwischen denselben erlangen; wenn man z. B. in eine Pinte Wasser zu 32 Grad Fahrenheit eine zweite Pinte zu 98 Grad gießt, so wird das dadurch erhaltene Quart Wasser 65 Grade haben; der halbe Unterschied zwischen der Temperatur des heißen Wassers und des kalten (33 Grad) ist jenem entzogen und dem letztern mitgetheilt worden. Ganz anders verhält sich aber die Sache, wenn verschiedene Körper zu verschiedenen Temperaturen miteinander vermengt werden, denn wenn man ein Pfund Wasser zu 156 Grad Fahren-

heit mit einem Pfund Quecksilber zu 40° mischt, so wird die gemeinsame Temperatur 152 Grad und nicht die mittlere zu 98 Grad sein, welche hervorgebracht worden sein würde, wenn man Wasser zu Wasser gegossen hätte. Aus diesem Experimente ergibt sich, daß das Wasser 4 Grade seiner Wärme verliert, um das Quecksilber um 112 Grad steigen zu machen, woraus man gefolgert hat, daß das Wasser eine größere Capacität für Wärme besitze als das metallische Fluidum im Verhältniß von 112 zu 4 oder 28 zu 1. Wenn man das Experiment umkehrt und ein Pfund Quecksilber zu 156 Grad mit einem Pfund Wasser zu 40 Grad mischt, so wird die gemeinsame Temperatur 44 Grad sein; das Quecksilber hat 112 Grad seiner Wärme verloren, während das Wasser nur 4 Grade gewonnen hat. Wenn man ein Pfund Gold zur Temperatur von 150 Grad zu einem Pfund Wasser zu 50 Grad gibt, so wird die Temperatur der Flüssigkeit nur um 5 Grade steigen, während jenes 95 Grade verliert, weil die gemeinsame Temperatur 55 Grad beträgt. Die relative Capacität des Wassers und des Goldes für Wärme verhält sich daher wie 5 zu 55 Grad, so daß die Capacität des Wassers für Wärme elfmal größer ist als jene des Goldes.

Aus andern Nachforschungen hat man angenommen, daß Quecksilber nur $1/_{33}$ der vom Wasser besessenen Capacität für Wärme habe, statt $1/_{28}$; auch scheint es gewiß, daß die Capacität einer Substanz für Wärme je nach der Temperatur variire, so daß man kaum hoffen darf, in Betreff der relativen Fähigkeiten der Körper, die Wärme zu absorbiren, genaue Schätzungen nach den eben beschriebenen Experimenten zu erhalten. Es sind verschiedene Versuche gemacht worden, die Menge von Wärme, welche verschiedene Substanzen unter verschiedenen Umständen von sich geben, mit größerer Genauigkeit zu ermitteln. Lavoisier und Laplace fertigten zu diesem Zwecke den sogenannten Calorimeter, ein Instrument, um mittels desselben die Menge Eis zu messen, welche von verschiedenen Körpern bei ihrem Auskühlen von jeder gegebenen Temperatur bis

zu 32 Grad Fahrenheit geschmolzen wird Es wurden mehrere Versuchsmaßregeln angewendet, um den Zutritt der äußern Wärme während des Kühlungsprocesses abzuwehren, und mit Genauigkeit die Menge Wasser, welche durch das Schmelzen des Eises innerhalb des Körpers des Instruments hervorgebracht wird, zu erhalten. Nachdem diese französischen Naturforscher ermittelt hatten, daß die beim Schmelzen eines Pfundes Eis absorbirte Wärme hinreichend sei, um ein Pfund Wasser von 32 Grad auf 157 Grad *) zu bringen oder um 125 Grad wärmer zu machen, gingen sie zur Ermittelung der relativen Quantitäten von Wärme über, welche verschiedene Körper beim Abkühlen bis zu einem gewissen Grad des Thermometers oder bei andern Processen emittiren. Allein die Ergebnisse, welche man mittels dieses Instruments erhält, unterliegen der Ungenauigkeit aus verschiedenen Ursachen, welche es unmöglich machen, alles durch das Schmelzen des Eises hervorgebrachte Wasser zu sammeln: denn es hat sich als wahrscheinlich bewiesen, daß ein Theil des auf diese Weise gebildeten Wassers zuweilen während seines Durchgangs durch den untern Theil des Calorimeters wieder friert, so daß die erhaltene Menge kein sicheres Maß der Wirkung der Ausströmung der Wärme von dem zu untersuchenden Körper gibt.

Andere Physiker haben daher zu verschiedenen Methoden Zuflucht genommen, um die specifische Wärme der verschiedenen Substanzen zu erforschen. Graf Rumford erfand einen Calorimeter zum Messen der Menge der beim Auskühlen erhitzter Körper oder bei andern Processen entströmenden Wärme, indem er das Steigen der Temperatur einer Wassermenge beobachtete, welche die von den Gegenständen seiner Untersuchungen entwickelte Wärme aufnahm. Auf ein ähnliches Princip gründet sich die Methode, deren sich Delaroche und Berard bedient haben, um

*) Nach Dr. Black auf 162° Fahrenheit.

die Capacität für Wärme oder die specifische Wärme gasartiger Flüssigkeiten zu ermitteln. Eine andere Methode, Forschungen der Art anzustellen, besteht darin, daß man die Zeit beobachtet, welche ein Körper bei einer gewissen vom Thermometer angezeigten Temperatur braucht, um auszukühlen, und die Dauer der Auskühlung mit jener bei andern Körpern vergleicht. Nach dieser Methode verfuhren Leslie und Dalton bei ihren Experimenten über die specifische Wärme der Körper, und ein ähnlicher Plan wurde von Dulon und Petit bei ihren Experimenten über Metalle befolgt.

Alle diese Operationsarten haben mehr oder weniger gegen sich, und die durch sie erzielten Resultate können nur als annähernde Schätzungen des relativen Einflusses der Temperatur auf verschiedene Körper betrachtet werden. Das kann man jedoch behaupten, daß bei festen Körpern die Capacität für Wärme im Verhältniß zu dem Steigen der Temperatur vermehrt wird, und daß dies auch der Fall bei dem Quecksilber sei, woraus man nicht ohne Grund folgern kann, daß die Wärme in gleicher Art auch auf die übrigen tropfbaren Flüssigkeiten einwirke. Jedoch muß bemerkt werden, daß, da sich die Körper beim Steigen ihrer Temperatur ausdehnen, die Zunahme ihrer Capacität mit der Zunahme der Ausdehnung Hand in Hand geht oder gar von ihr abhängt; eine Folgerung, welche durch die Thatsache unterstützt ist, daß diejenigen Metalle, welche sich durch die Wärme am leichtesten ausdehnen, auch der größten Variation der Capacität für Wärme empfänglich sind.

Da die Wärme im Allgemeinen eine Zunahme des Umfangs des ihrer Wirkung unterworfenen Körpers hervorbringt und die Ausdehnung gewöhnlich nach allen Richtungen, aber in verschiedenen Graden, je nach der Natur der Substanz, auf welche jene wirkt, stattfindet, so kann auf diese Weise die Menge der so operirenden Wärme, oder vielmehr der Betrag der so hervorgebrachten Wirkung ermittelt werden; die Instrumente, um die Wärme nach

diesem Grundsatze zu messen, sind bereits beschrieben worden. Es können aber, wie schon angeführt worden, wichtige Veränderungen durch Entziehung oder Hinzufügung von Wärme, ohne daß dadurch der Thermometer auf die gewöhnliche Weise afficirt wird, in den Körpern hervorgebracht werden; so kann man feste Körper, wenn man sie der Hitze aussetzt, in flüssige verwandeln, und die letztern kochen und verdunsten in der Hitze, das heißt, sie nehmen die gasartige oder luftartige Form an. Dr. Black wurde durch die ungleiche Wirkung der Wärme auf gegebene Quantitäten Eis oder Wasser, beide die Temperatur von 32 Grad habend, und beide in eine gleich vortheilhafte Lage versetzt, um Wärme zu empfangen, auf seine Theorie von der gebundenen Wärme als Ursache der Verflüssigung und Verflüchtigung der Körper geleitet.

Es kann als ein allgemeines, aus zahlreichen Beobachtungen gefolgertes Princip betrachtet werden, daß, sobald eine Substanz durch die Wärme zum Flusse oder zum Schmelzen gebracht wird, von derselben während des Processes des Schmelzens eine Quantität Wärme absorbirt wird, welche durch den Thermometer nicht ermittelt werden kann, obschon die Abnahme der Temperatur in den Körpern, die mit der schmelzenden Substanz in Berührung gebracht wird, sehr beträchtlich ist. So kann man Wasser frieren machen, wenn man eine kleine damit gefüllte Flasche in ein Becken setzt, worin gestoßener Schnee oder Eis mit salzsaurem Kalk gemischt worden ist. Gesetzt nun, die Temperatur des Wassers wäre 52 Grad oder 20 Grad über dem Gefrierpunkte, so wird es nach und nach Wärme von sich geben, bis es gefriert, und die Quantität der dergestalt entweichenden Wärme wird von der gefrieren machenden Mischung aus Schnee und Salz absorbirt, welche nach und nach schmilzt oder flüssig wird, aber dieselbe thermometrische Temperatur so lange beibehält, als noch irgend ein Theil der Masse unaufgelöst bleibt.

Auf diesem Principe beruht die Kunst mittels gefrieren machender Mischungen, welche gewöhnlich aus Mine-

ralsäuren oder gestoßenen neutralen, mit Schnee vermischten Salzen bestehen, flüssige Körper in feste zu verwandeln. Ähnliche Wirkungen beobachtet man, wenn das Schmelzen bei einer hohen Temperatur stattfindet. So schmilzt der Wallrath bei einer Wärme von 112 Grad, welche Temperatur er beibehält, so lange noch ein Theil festbleibt, so daß man den Finger in die schmelzende Masse tauchen kann, während noch ein Theil derselben in festem Zustande verharrt; wie aber die Schmelzung vollkommen vor sich gegangen ist, erhöht jede Hinzufügung von Wärme den Thermometer über den Schmelzpunkt. Zinn schmilzt bei 442 Grad, Blei bei 600 Grad, und die Metalle verharren während des Processes des Schmelzens auf dieser ihrer respectiven Temperatur; nachdem er aber vollständig stattgefunden hat, können dieselben rothglühend gemacht werden. Und wenn man Blei in einem Schmelztiegel schmilzt und bis zum Glühen bringt, sinkt seine Temperatur sogleich wieder bis auf den Schmelzpunkt, sowie man ein Stück festes Blei hineinwirft.

So wie Absorption der Wärme oder Verminderung der Temperatur in den umgebenden Körpern stets stattfindet, wenn eine feste Substanz geschmolzen oder in den flüssigen Zustand verwandelt wird, wird im Gegentheil Wärme hergegeben, wenn ein flüssiger Körper in einen festen umgewandelt wird. Wenn man z. B. eine starke Auflösung Glaubersalz in heißem Wasser in ein Fläschchen gießt und verkorkt, so lange sie noch warm ist, so wird, wenn man es anders ungestört läßt, das Salz auch unter der Temperatur, bei welcher es sich sonst krystallisirt, aufgelöst bleiben; öffnet man dann plötzlich die Flasche, so werden sich sogleich Krystalle bilden, und ihre Bildung von einer Erhöhung der Temperatur begleitet sein, wie man sich leicht überzeugen kann, wenn man die Hand an die Außenseite der Flasche hält. Wenn man Wasser auf ungelöschten Kalk gießt, verliert dasselbe seine flüssige Form, vereint sich mit der Kalkerde und bildet den zerreiblichen, festen Körper, welchen man gelöschten Kalk nennt, indem es zu

gleicher Zeit Wärme entwickelt, wovon eine große Menge von dem Theil des Wassers fortgeführt wird, welcher als neblicher Dunst in die Luft emporsteigt.

Wenn man tropfbare Flüssigkeiten der Wärme aussetzt, so werden sie mehr oder minder leicht in luftförmige Flüssigkeiten verwandelt; Wasser wird zu Dampf, Äther und Alkohol gestalten sich zu entzündlichen Dünsten, kurz, in der Regel nehmen alle tropfbaren Flüssigkeiten, welche erhitzt, aber nicht zersetzt werden, die gasartige Form bei einer gewissen Temperatur an und werden, wenn man sie der Kälte aussetzt, abermals zu einer tropfbaren Flüssigkeit verdichtet. Verschiedene Flüssigkeiten fordern verschiedene Grade von Temperatur, um in Dünste verwandelt zu werden. Wasser kocht oder verdunstet bei 212 Grad Fahrenheit, während Alkohol bei 173½, Äther bei 100 Grad aufwallt. Ähnliche Verwandlungen finden aber bis zu einem gewissen Umfange fast bei jeder Temperatur statt, denn alle Arten von wässeriger Flüssigkeit verdampfen selbst im Winter, wenn man sie in seichten Gefäßen der Luft aussetzt, ja, geistige oder ätherische Flüssigkeiten können, außer in wohlverschlossenen Gefäßen, im Zustande der Flüssigkeit bei gewöhnlichen Temperaturen nicht einmal lange erhalten werden. Ölige und zuckerhaltige Flüssigkeiten verdunsten bei kaltem Wetter nicht leicht, wenn sie aber längere Zeit als flüchtige Körper der Luft ausgesetzt werden, geschieht dies doch. Das ist eine sehr weise Einrichtung der Natur, denn wenn das Wasser in allen Temperaturen unter 212 Grad den flüssigen Zustand umwandelbar beibehielte, so würde die Feuchtigkeit, die als Regen zur Erde fällt, auch in den heißesten Sommern nicht verdunsten; auch würden gar große Unannehmlichkeiten aus dem Vorhandensein von Flüssigkeiten entstehen, welche nun mehr oder weniger schnell zu allen Jahreszeiten durch die Bewegung der Luft mittels des Windes fortgeführt werden.

Sowol von der Oberfläche der festen wie der flüssigen Körper findet bei niedrigen Temperaturen Ausdünstung

statt. Man hat beobachtet, daß selbst Schnee und Eis an ihrer Quantität durch Verdunstung bei Fortdauer des Frostes verlieren. Einige interessante Versuche sind in der Beziehung in Nordamerika während des Winters 18$^{14}/_{15}$ angestellt worden. An der westlichen Küste des Sees Winnepie, 52 Grad nördlicher Breite, hing Herr Holdsworth am 28. November 1814 eine 2 Zoll dicke, zwanzigpfündige Scheibe Eis auf, und am 14. Februar hatte sie 17 Unzen verloren, während welcher Zeit 23 Grad Fahrenheit der höchste Grad der Temperatur gewesen war. Das Experiment wurde bis zum 31. März fortgesetzt, wo der ganze Verlust, den das Eis durch Verdunstung erlitten hatte, 4 Pfund betrug, und obschon am 26. und 28. Februar die Temperatur während mehr als zwei Stunden an jedem Tage 36 Grad Fahrenheit hoch war, tropfte es weder, noch bemerkte man an der Oberfläche Feuchtigkeit. Am 16. Februar 1815 hing man Schnee in einem Flortuche auf, welches sammt jenem 30 Unzen wog. In zehn Tagen waren zwei, in noch neun dazu abermals zwei Unzen am Gewichte verloren, und am 14. März betrug der Totalverlust 6 Unzen oder $^1/_8$ des Gewichts in 26 Tagen, während welcher ganzen Periode das Tuch beständig trocken geblieben war*). Hieraus ergibt sich, welche beträchtliche Menge von Dünsten sich aus Schnee und Eis erheben, während die Temperatur der Atmosphäre unter dem Gefrierpunkt steht.

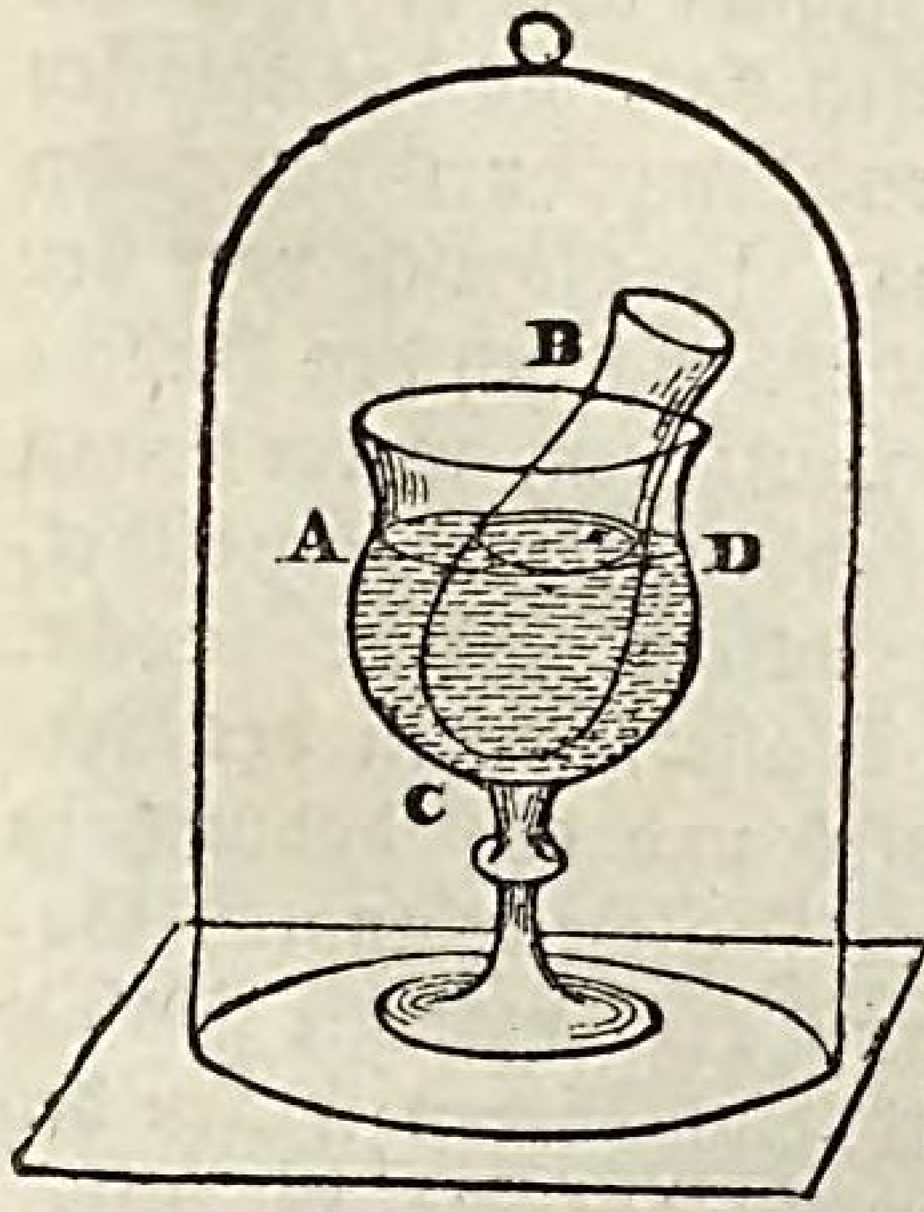
Unter jenen Umständen, welche einen wesentlichen Einfluß auf die Verdunstung haben, ist der atmosphärische Druck einer der wichtigsten. Alle Flüssigkeiten verdunsten bei verdünnter Luft leichter. Quecksilber wird in dem Vacuum, welches in dem obern Theile einer Barometerröhre gebildet wird, mittels eines geringen Grades von Wärme

---

*) Journal of Science etc., ed. at Royal Institution, vol. IX, p. 423, 424.

sublimirt, und unter dem Recipienten einer Luftpumpe wird das Wasser, je nach Maßgabe der Verdünnung, bei einer viel geringern Temperatur sieden, als sie unter gewöhnlichen Umständen nothwendig ist. So siedet auch auf hohen Bergen das Wasser wegen der oben herrschenden dünnen Luft viel schneller, und im Allgemeinen läßt sich behaupten, daß die Siedpunkte der Flüssigkeiten in irgend einem Grade, je nach dem Luftdrucke, wie derselbe durch den Barometer angezeigt wird, eine Veränderung erleiden.

Wenn man Äther unter einen luftleeren Recipienten stellt, so verdunstet er schnell. Ja er kann zum Kochen gebracht werden, während Wasser, das mit ihm in Berührung ist, friert. Um diese Erscheinung hervorzubringen, muß man sich eine kleine, aus dünnem Glase gefertigte Flasche B verschaffen, welche beinahe in das glockenförmige, neben abgebildete Trinkglas C paßt. Dann gießt man Äther in die Flasche und Äther in das Glas, so daß beide Flüssigkeiten auf der Höhe der Linie AD stehen, worauf der ganze Apparat unter den Recipienten einer Luftpumpe gestellt wird. Arbeitet nun die letztere, so wird der Äther sieden oder in Dunst verwandelt werden, und da dazu Wärme erforderlich ist, wird er dieselbe den ihn einschließenden Gefäßen und dem Wasser, von dem er umgeben ist, entziehen, so daß das letztere derselben beraubt wird, unter den Gefrierpunkt sinkt und Eis bildet.

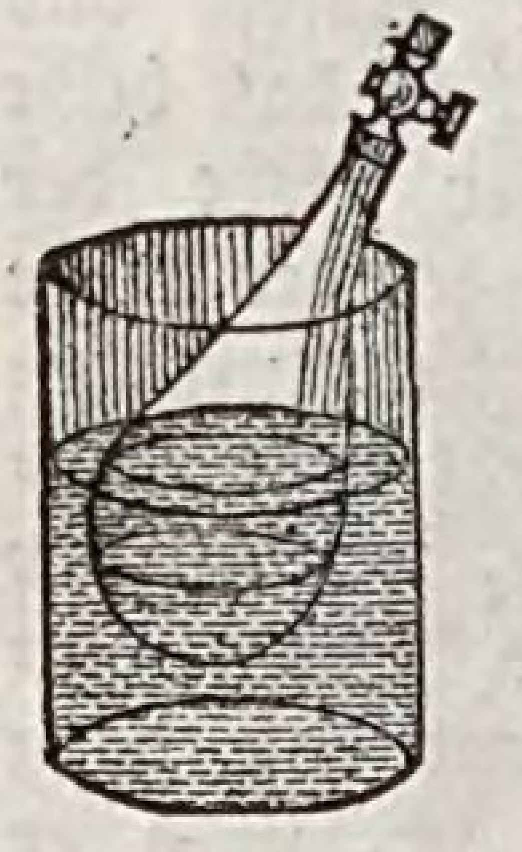


Die Veränderung der Temperatur durch die Verdunstung des Äthers ist so beträchtlich, daß man hierdurch bereits Quecksilber in einen festen Körper verwandelt hat. Dies kann man bewirken, indem man eine kleine Quantität Quecksilber in eine flache Sphäroide von dünnem Glase

gießt, es mit dünnem Musselin bedeckt und so schnell Äther auf denselben träufelt, als er verdunsten kann, worauf dem Quecksilber die Wärme so schnell entzogen werden wird, daß es bald zu einer festen Masse zusammenfriert.

Wasser allein wird bei einer Temperatur von 100 Grad Fahrenheit unter dem luftleeren Recipienten schnell sieden; aber das Aufwallen wird schnell aufhören, und zwar wegen des Druckes des Dampfes, welcher den Raum, dem die Luft entzogen worden ist, einnimmt. Die Art, wie eine Flüssigkeit durch Veränderung des Druckes der Atmosphäre auf ihre Oberfläche zum Sieden gebracht werden kann, vermag man auf eine unterhaltende Weise durch folgendes Experiment zu zeigen:

Es werde an dem Hals einer Florentinerflasche, worin sich ein kleines Quantum Wasser befindet, ein Hahn angebracht, und nachdem man die Flasche über die Flamme einer Weingeistlampe so lange gehalten hat, bis das Wasser kocht und in Form von Dampf durch den Hahn entflieht, nehme man sie plötzlich von der Flamme weg und schließe zugleich den Hahn; bald wird das Sieden aufhören, worauf man sie, wie in nebenstehender Figur abgebildet, in einen Krug mit kaltem Wasser taucht. Sogleich wird das Wasser, wegen der Verdichtung des Dampfes und des dadurch in dem obern Theil der Flasche erlangten Vacuums, wieder sieden. Läßt man die Flasche lange in dem Wasserkruge, so wird das Sieden wegen des allmäligen Auskühlens des Wassers in der Flasche aufhören; nimmt man sie aber aus dem Kruge und hält sie an die Flamme, so wird frischer Dampf erzeugt und das Sieden kann erneuert werden, wenn man die Flasche abermals in kaltes Wasser taucht.



Man hat die Methode, die Flüssigkeiten bei einer vergleichungsweise niedrigen Temperatur zum Sieden zu bringen, in manchen Fabriken mit Vortheil angewendet. So hat man dieselbe bei der Zuckerraffinerie praktisch ge-

braucht, durch welches Mittel der Zuckersyrup sich bis zu dem Punkte, wo er Krystalle ansetzt oder sich körnt, concentrirt, ohne Gefahr, daß er verbrennt oder durch das Übermaß der Wärme zersetzt wird. Ein ähnliches Verfahren hat man bei der Bereitung vegetabilischer Extracte für medicinische Zwecke angenommen, so auch, um Gelées und andere Arten Zuckerwerk zu bereiten.

Das Destilliren ist eine Operation, die nach ähnlichen Principien, wie die eben beschriebenen sind, vorgenommen wird, aber der Zweck ist verschieden, denn der Dampf, welchen man bei der Zuckerraffinirung oder beim Bereiten von Extracten entwischen läßt, wird beim Destilliren im Gegentheile sorgfältig gesammelt und durch Verdichtung wieder in flüssige Form gebracht. Die Methode, bei einer niedrigen Temperatur mittels Entfernung des atmosphärischen Druckes zu destilliren, hat man mit Vortheil in Fällen angewendet, wo es sich hauptsächlich darum handelte, Produkte zu erhalten, die von brenzlichem oder unangenehmem Geschmack so frei als möglich wären. Herr Henry Tritton hat einen Apparat erfunden, um gebrannte Wasser zu destilliren, mittels welches der Dampf in einem Gefäße, das nicht wie gewöhnlich dem Feuer ausgesetzt, sondern von heißem Wasser umgeben ist, sich erhebt; die Röhre, die von dem obern Theile des Gefäßes ausgeht, nahm ihren gewöhnlichen Weg durch kaltes Wasser, mündete aber in eine geräumige Cavität oder ein hohles Gefäß aus, aus welchem die Luft mittels einer Pumpe ausgezogen werden kann. Ein ähnliches Verfahren hat man mit Vortheil bei der Destillation des Essigs angewendet.

Gleichwie die Flüssigkeiten bei vergleichungsweise niedriger Temperatur kochen, wenn der Druck der Luft oder elastische Dämpfe auf ihrer Oberfläche unbeträchtlich ist, so bleiben sie unverdunstet bei vergleichungsweise hoher Temperatur, wenn sie außerordentlichem Drucke ausgesetzt oder in ein starkes, dicht verschlossenes Gefäß eingesperrt sind. Eine solche Maschine ist der papinianische Digerirtopf, nach seinem Erfinder so genannt. Er besteht aus einem

metallischen Gefäß von cylindrischer Gestalt mit sehr dicken Wänden, hat einen starken luftdicht passenden Deckel, der noch überdies mittels einer Querstange zugeschraubt wird. Wenn ein solches zum Theil mit Wasser gefülltes Gefäß dem Feuer ausgesetzt wird, entwickelt sich im Innern eine große Menge Dampf, welcher, da er nicht entströmen kann, mächtig auf die Oberfläche der Flüssigkeit drückt und das Sieden verhindert, obschon die Hitze des Wassers weit über dem Siedpunkte stehen mag, während auch die Quantität und Elasticität des eingeschlossenen Dampfes vermehrt wird. Der Digerirtopf soll mit einem Sicherheitsventile versehen sein, welches sich öffnet, wenn der Dampf einen Grad von Kraft erreicht hätte, daß ihm die Wände keinen Widerstand mehr leisten können, wodurch die Gefahr des Berstens entfernt wird. Solche Maschinen braucht man, um den Gallertstoff aus den Knochen zu Brühetäfelchen zu gewinnen, sowie auch zu mehrern andern Zwecken.

Die Temperatur des Dampfes ist stets jener der Flüssigkeit, von welcher er gebildet wird, gleich, so lange er mit dieser Flüssigkeit in Berührung bleibt; und da die elastische Kraft des Dampfes sich im Verhältniß zu seinem Wärmegrade steigert, so wird der Betrag des Druckes, welchen er ausübt, stets von der Temperatur abhängen, zu welcher er gebildet worden ist. Daher der Unterschied zwischen Hochdruck und Niederdruck des Dampfes, und Hochdrucks- und Niederdrucksdampfmaschinen. Der Dampf ist seit mehr als einem Jahrhundert zu verschiedenen wichtigen Zwecken als bewegende Kraft verwendet worden. Die Art seiner Wirksamkeit wird alsbald durch die Beschreibung der Dampfmaschinen erörtert werden; indessen müssen einige vorläufige Bemerkungen über die Art, wie die Hervorbringung des Dampfes stattfindet, und über die Vorsichtsmaßregeln, welche nothwendig sind, um diese Operation mit Sicherheit und Vortheil zu leiten, vorausgehen.

So wie Dampf hervorgebracht zu werden beginnt, wie beim Sieden des Wassers, wenn die Wärme den Druck

der Atmosphäre überwältigt, entstehen Bläschen, die leicht an den Wänden des Gefäßes hängen, wie man sich durch den Augenschein überzeugen kann, wenn man Wasser in einem dünnen Glase zum Kochen bringt. Diese Bläschen entstehen an jenen Punkten am schnellsten, wohin die Flamme am stärksten gerichtet ist, und wenn ein besonderer Theil der Oberfläche eines gewöhnlichen Kessels viel stärker erhitzt wird als die jenen umgebenden Punkte, so wird die im Überfluß entstehende Bildung von Blasen das Wasser von der innern Oberfläche des Theiles des Kessels wegtreiben, dadurch wird das Metall unregelmäßig erhitzt, und wenn das Wasser abermals mit demselben in Berührung kommt, so wird plötzlich sehr elastischer Dampf erzeugt, in dessen Folge der Kessel oft platzt. Dies scheint die wahrscheinlichste Erklärung der zahlreichen Unfälle zu sein, welche sich in Folge der Anwendung des Dampfes als bewegende Kraft ereignet haben; daher ist Perkins auf die Erfindung eines verbesserten Dampfkessels geführt worden, in welchem mittels einer Röhre oder eines offenen Cylinders in der Mitte des Kessels, wodurch die Blasen von der erhitzten Oberfläche des Kessels, so wie sie entstehen, auch weggeführt werden, eine beständige Circulation des Wassers erhalten wird und eine äußerst regelmäßige und gleichförmige Erzeugung des Dampfes stattfindet. Er hatte bemerkt, daß, wenn zwei Kessel mit Wasser gefüllt und einer in den andern gesetzt wird, so daß die Hitze das innere Gefäß nur durch die in dem äußern sich befindliche Flüssigkeit erreichen kann, keine Dampfbläschen in dem erstern aufsteigen, während sie in dem letztern sehr schnell gebildet werden. Da die Flüssigkeit in dem äußeren Gefäße aus Wasser, das mit Luftbläschen gefüllt ist, besteht, sich in dem innern aber nur Wasser befindet, so wird der Inhalt der beiden Gefäße zur selben Temperatur eine verschiedene specifische Schwere haben, und natürlich jener des äußern Gefäßes der leichtere sein. Wenn man nun den Boden des innern Gefäßes herausnimmt, so daß es einen offenen Cylinder bildet, dessen oberer Rand etwas

über die Oberfläche des Wassers im äußeren Gefäße vorragt und der, wie in der beigefügten Zeichnung, in dieser

Lage erhalten wird: dann wird die ungleiche Dichtigkeit der Flüssigkeiten in den äußern und innern Theilen des Kessels, wenn sie der Wirkung des Feuers ausgesetzt werden, die Bildung eines circulirenden Stromes veranlassen. Die Bläschen, welche im Wasser des äußern Gefäßes, dicht am Feuer, enthalten sind, werden beständig nach der Oberfläche aufsteigen, und zwar bei niedriger Temperatur mit einer Kraft, welche den Unterschied zwischen der specifischen Schwere der Luft und des Wassers in etwas übersteigt: so wie man aber die Wärme vermehrt und die Bläschen mit größerer Geschwindigkeit gebildet werden, dann vermehrt sich auch der Unterschied der specifischen Schwere der beiden Fluida, folglich auch die Schnelligkeit und Kraft der Strömung. Denn da das Wasser in dem innern Gefäße oder Cylinder von Bläschen frei ist, so wird es wegen seiner größern specifischen Schwere niedersinken, sich unter den aufsteigenden Bläschen des äußern Gefäßes erheben und dergestalt die Circulation fortsetzen. Wenn dann das Feuer so vermehrt wird, daß eine äußerst intensive Hitze rings um einen Kessel dieser Construction gebildet wird, so wird der aufsteigende Strom so schnell und kräftig sein, daß er in seinem Wirbel Sand, Kies, Steine, fast jede Art von schweren Substanzen von mäßigem Umfang, die sich etwa in dem Kessel befinden mögen, aufwärts führt, zugleich aber auch alle Dampfbläschen, die sich an der innern Oberfläche des Kessels bilden, wodurch er ihn von dem Dampfe frei hält, der sonst den freien Zug der Wärme, welchen das Wasser empfängt, gehindert haben möchte; auch

wird dadurch die Anlegung jeder salzigen oder erdigen Substanz, die sich etwa im Wasser befindet, gehemmt; endlich findet in Folge der beständigen und gleichförmigen Bewegung der ganzen Masse der Flüssigkeit eine regelmäßige und reichliche Absorption der Wärme statt, und der Dampf wird mit erstaunenswerther Schnelligkeit und ohne Gefahr einer Explosion entwickelt.

Da die Dampfmaschine, eine Maschine von der größesten Wichtigkeit, in Betreff ihrer Wirksamkeit von der Spannkraft des Dampfes abhängt, so muß im Allgemeinen ihr Bau und ihre Wirksamkeit hier beschrieben werden. Der Wasserdampf nimmt einen etwa 1700mal größern Raum ein als die Wassermenge, aus welcher er gebildet wurde, an Umfang hielt; es folgt daraus, daß er wegen seiner Spannkraft dem Zusammengedrücktwerden stark widersteht, daß mithin die dadurch erhaltene Kraft auf verschiedene Weise geleitet und modificirt werden kann, um Bewegung zu erhalten. Zu welcher Periode der Dampf zuerst als eine bewegende Kraft in Anwendung gebracht wurde, ist ungewiß. Inzwischen kannte man die Methode, ihn dazu zu verwenden, schon in der Mitte des 17. Jahrhunderts, denn der Marquis von Worcester beschreibt in seinem Werke über die Erfindungen*), welches unter der Regierung Karl's II. herauskam, eine Maschine zur Hervorbringung von Bewegung durch Dampfkraft; obschon jedoch die Idee, den Dampf als bewegende Kraft zu verwenden, damals in mehrern Personen gleichzeitig entstanden sein mag, so muß man doch die Erfindung der eigentlichen sogenannten Dampfmaschine einem scharfsinnigen Manne, Namens Newcomen, welcher Schlosser im westlichen Theile von England war, zuschreiben, denn ein Patent für eine solche Maschine, um das Wasser aus den Minen zu pumpen, wurde diesem Newcomen und dem

---

*) „Century of Inventions."

Capitain Savery, einem Ingenieur, der vermuthlich zur Verbesserung der Maschine beigetragen hat, ertheilt.

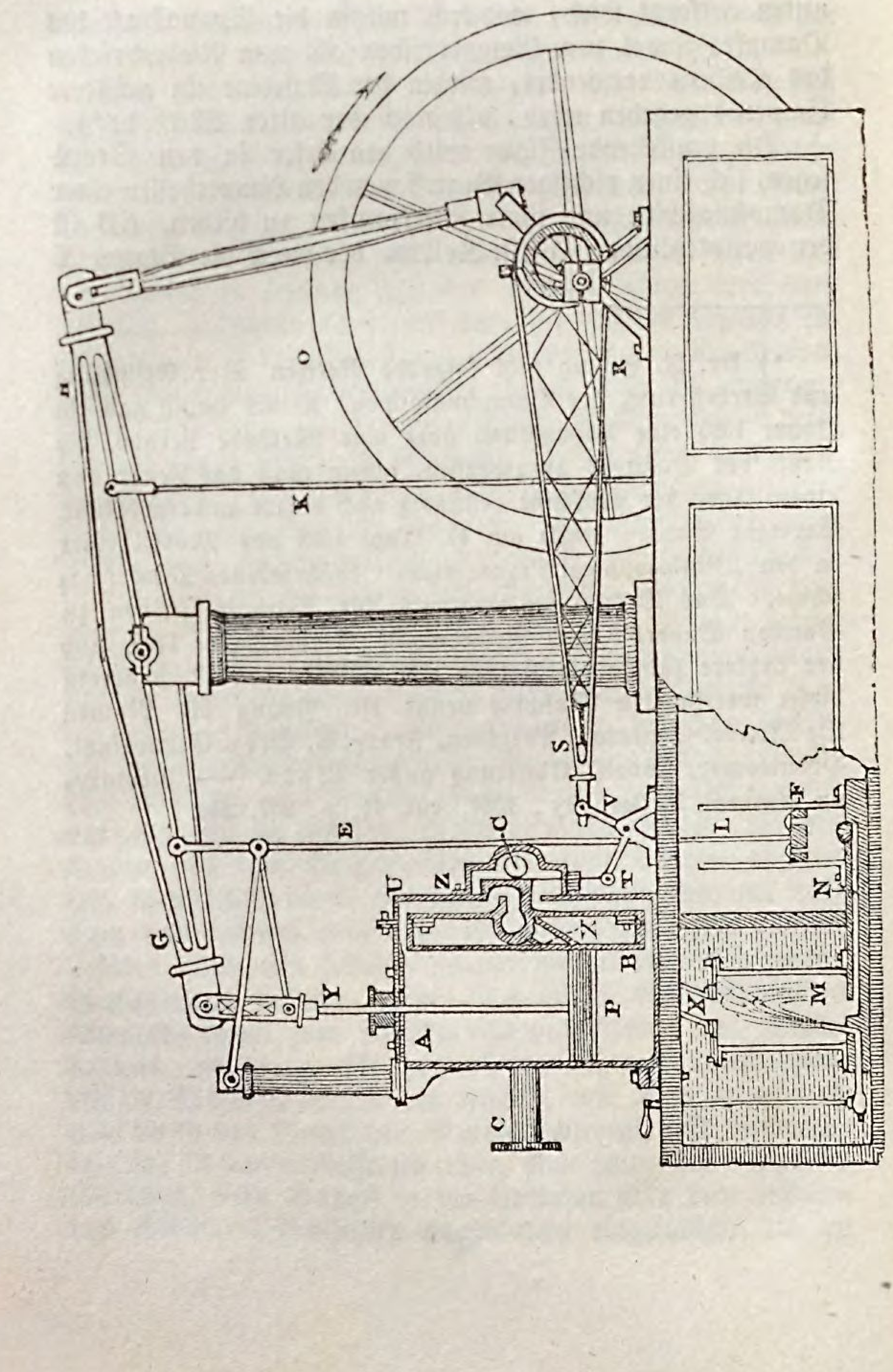
Die Art, wie der Dampf wirkt, ist, daß man ihn zwingt, einen Kolben in einem Cylinder, ungefähr wie bei einer Feuerspritze, zu erheben; die Kolbenstange, welche durch die Spannkraft des in den Cylinder eingelassenen Dampfes erhoben wird, theilt dann die Bewegung einem damit in Verbindung stehenden Hebel mit. Wird nun der Kolben so erhoben und der Dampf unter demselben plötzlich verdichtet oder entfernt, so entsteht beinahe ein Vacuum, und der Druck der Atmosphäre auf den Kolben wird ihn wieder niederdrücken; dann kann er abermals durch Zulassung von Dampf erhoben werden, welcher wieder verdichtet wird, so daß diese abwechselnde Bewegung in infinitum fortsetzbar ist. Newcomen's Ruhm als Erfinder stützt sich darauf, daß er wahrscheinlich die erste Person war, welche auf den Gedanken verfiel, den Dampf in dem Augenblick, als er seine Wirkung gethan, zu verdichten, indem er in den Cylinder einen Strahl kalten Wassers leitete. Zwei sehr wichtige Vervollkommnungen hat die ursprüngliche Maschine durch den berühmten James Watt erhalten. Er beobachtete, daß das Abkühlen des Cylinders durch Wasser die Spannkraft des Dampfes mindere, und dadurch viele Kraft vergeudet werde: um nun dies zu hindern, erfand er eine Methode, um den Dampf aus dem Hauptcylinder in einen andern abzuleiten, in welchem die Condensation stattfindet, und aus welchem das dadurch entstehende Wasser in den Kessel zurückgeführt wird, um frischen Dampf zu bilden. Die zweite Verbesserung bestand darin, daß er die Spannkraft des Dampfes sowol zum Senken als zum Heben des Treibkolbens anwendete. In der ursprünglichen oder atmosphärischen Maschine wurde der Kolben, wie schon angeführt, nur durch den Druck der atmosphärischen Luft niedergetrieben; in der verbesserten aber, oder jener mit doppelter Wirkung, wird Dampf in den Cylinder über dem erhobenen Kolben in demselben Augenblicke eingelassen, als er

unten entfernt wird, wodurch mithin die Spannkraft des Dampfes sowol zum Emportreiben als zum Niederdrücken des Kolbens verwendet, mithin der Maschine ein größerer Impetus gegeben wird, als nach der alten Methode*).

Die umstehende Figur wird den Leser in den Stand setzen, sich einen richtigen Begriff von den Haupttheilen einer Dampfmaschine und ihrer Wirksamkeit zu bilden. AB ist der Hauptcylinder, P sein Kolben, der durch die Stange Y

---

*) Dr. J. Young gibt folgende Notizen über Erfindung und Verbesserung der Dampfmaschinen. Denis Papin gab im Jahre 1695 eine Abhandlung über eine Methode heraus, die Kraft des Dampfes anzuwenden, indem man das Feuer von einem Theil der Maschine beständig nach einem andern bringt. Capitain Savery zeigte am 16. Juni 1699 das Modell einer in den „Philosophical Transactions" beschriebenen Dampfmaschine. Das Datum des Patents für Dampfmaschinen zu Gunsten Savery's und Newcomen's ist vom Jahre 1705, und der Letztere führte die Kolben ein. Unter den Verbesserern dieser werthvollen Maschine nennt Dr. Young die Namen De Moura, Smeaton, Brighton, François, Droz, Cartwright, Hornblower, Woolf, Edelcrantz außer Watt. — Lectures on Natural Philosophy, 1807, vol. II, p. 257. 258.


O
R
K
S
V
E
C
T
Z
U
G
Y
A
P
B
X
L
F
N
M
C

auf den Balken GH wirkt, dessen anderes Ende mit dem Schwungrade in Verbindung steht; C ist die Röhre oder der Gang, durch welchen der in dem Kessel gebildete Dampf zu den Communicationsröhren TU geleitet wird, um abwechselnd auf jeder Seite des Kolbens P zugelassen zu werden; O ist das Schwungrad, welches durch die Stäbe RS, die sich excentrisch bewegen, auf den rechtwinkeligen Hebel V wirkt, der mittels der Klappe Z die Zulassung des Dampfes durch die Verbindungsröhre regulirt; M der Condensator; X die Röhre, durch welche der Dampf von dem Cylinder in den Condensator geht; N eine Röhre, um das Wasser nach der Verdichtung in die Pumpe L zu leiten; F der Kolben der Pumpe L, welcher durch seine an den Balken GH befestigte Stange wirkt; K die Kolbenstange einer Pumpe, um Wasser in den Condensator zu treiben.

Nach dieser Beschreibung wird man die Wirksamkeit der Dampfmaschine leicht verstehen. Es sei der Kolben P an der Spitze des Cylinders AB, und der untere Theil des letztern mit Dampf gefüllt, dann wird mittels des Hebels V die Dampfklappe Z so aufgezogen, daß Dampf durch den obern Theil der Verbindungsröhre U in den Cylinder oberhalb des Kolbens eingelassen wird, und zu gleicher Zeit öffnet sich ein Gang, um den Dampf unter dem Kolben in den Condensator entweichen zu lassen. Wenn nun dadurch der Kolben auf den Boden des Cylinders niedergetrieben wird, öffnet sich die Dampfklappe abermals, um durch den untern Theil der Verbindungsröhre T Dampf unter den Kolben einzulassen, während der andere Gang sich gleichfalls öffnet, um den Dampf über den Kolben durch die Röhre X in den Condensator zu lassen. Dergestalt steigt und fällt der Kolben abwechselnd, treibt durch die Verbindung seiner Stange mit dem Hebel GH die Pumpen und dreht das Schwungrad, von welchem die bewegende Kraft durch verschiedene Maschinerien zu was immer für erforderlichen Zwecken fortgeleitet werden kann. Das Schwungrad kann so bewegt werden, wie es in der

Abbildung dargestellt ist, mittels einer Kurbel nämlich die durch eine Stange mit dem Arm H des großen Hebels in Verbindung steht, oder es können Zahnräder nach der Weise, wie sie anderswo *) beschrieben worden ist, angewendet werden. Es sind verschiedene andere Veranstaltungen getroffen worden, um die Bewegungen der verschiedenen Theile der Maschine zu reguliren. So ist der Kolben, der sich scheitelrecht erhebt, durch ein System von ineinander gefügten Stangen mit der Extremität des Armes G des großen Hebels verbunden, und da sich dieser Hebel auf einem Zapfen dreht, so müßte das Ende des Armes den Bogen eines Kreises beschreiben; mittels der Stäbe jedoch ist das Bewegen so geregelt, daß der Kolben in einer Curve aufsteigt, deren Radius so groß ist, daß sie sich von einer geraden Linie nicht merkbar unterscheidet **). Eine andere Vorrichtung, um die Schnelligkeit der Dampfmaschine zu reguliren, heißt der Steuerer (governor) und ist auch schon bereits beschrieben worden ***), sowie zu einer großen Anzahl von Zwecken besondere Vorrichtungen erfunden worden sind.

Es ist erwähnt worden, daß der Grad der Spannkraft des Dampfes von dem Betrag des Druckes abhängt, welcher von den Wänden des Gefäßes, in welchem er sich entwickelt, ausgehalten wird. In den gewöhnlichen Watt'schen Dampfmaschinen mit einfacher Wirkung wird der Dampf in der Regel unter einem Druck entwickelt, der nicht 20 Pfund auf einem Quadratzoll übersteigt, da der Dampfkessel mit einem Sicherheitsventile von dieser Schwere versehen ist; wenn daher die Spannkraft des Dampfes jenen Druck übersteigt, öffnet sich das Ventil, und die Kraft des Dampfes wird natürlicherweise vermindert. Die-

---

*) S. „Anleitung zum Selbststudium der Mechanik", S. 127.

**) Ebendaselbst, S. 130.

***) Ebendaselbst, S. 134.

ser Druck beträgt nur fünf Pfund mehr als bei der atmosphärischen Dampfmaschine; aber bei der Watt'schen Dampfmaschine mit doppelter Wirkung, wo der Druck der atmosphärischen Luft ausgeschlossen ist, wird der ganze Druck von 20 Pfund verwendet, daher wird eine solche Maschine, die Gleichheit des Kolbens vorausgesetzt, ebenso viele Kraft haben als eine Hochdruckmaschine, die mit Dampf von einer Kraft von 35 Pfund auf den Quadratzoll arbeitet.

Da die Hochdruckmaschine in ihrem Bau nicht nur einfacher, sondern auch kleiner ist als die Tiefdruckmaschine mit doppelter Wirkung, so wird sie mit größerem Vortheile als die letztere in allen Fällen angewendet, wo es auf Raumersparung ankommt, folglich auch auf Dampfwagen. Bei diesen Maschinen wird der Dampf nicht verdichtet, sondern man läßt ihn entweichen, nachdem er auf den Kolben gewirkt hat; da er jedoch unter einem außerordentlichen Drucke, der von 50 bis 260 Pfund auf den Quadratzoll variirt*), so ist seine Spannkraft relativ außerordentlich groß. Die Aufmerksamkeit Derjenigen, welche sich mit Erbauung und Verbesserung von Dampfwagen beschäftigt haben, ist daher vorzüglich auf die Construction von Kesseln gerichtet gewesen, in welchen der Hochdruckdampf mit der geringsten Gefahr einer Explosion entwickelt würde, und wirklich ist es Herrn Goldsworthy, Gurney und Andern gelungen, Dampfwagen zu bauen, in welchen man wenigstens ebenso sicher, aber mit ungleich größerer Schnelligkeit fährt als in Wagen, die von Pferden gezogen werden.

Fortpflanzung der Wärme.

Wenn eine beträchtliche Masse von Materie, sie möge eine einzige Substanz sein, z. B. eine Masse Wasser oder

---

*) S. Gordon's „Treatise upon Elemental Locomotion", 1832, p. 62, 80, 96 und 100.

atmosphärische Luft, oder aus mehrern Substanzen bestehen, eine gleichförmige Temperatur hat, und es wird eine andere Substanz die entweder mehr oder weniger warm ist als jene Masse, hinzugefügt, so wird das Gleichgewicht der Temperatur partiell für eine Zeit gestört, und dann wiederhergestellt werden; die ganze Masse wird, wenn die hinzugefügte Substanz heißer ist, von ihr Wärme empfangen, sie ihr aber im entgegengesetzten Falle mittheilen. So wird die Wärme fortgepflanzt oder von einem Körper dem andern mitgetheilt, indem sie eine Tendenz hat, sich allgemein unter die Körper zu verbreiten, und zu bewirken, daß sie alle denselben Grad thermometrischer Temperatur zeigen. Es gibt zwei Arten, durch welche die Fortpflanzung der Wärme geschehen kann: erstens durch Leitung, zweitens durch Ausstrahlung.

Fortpflanzung der Wärme durch Leitung findet stets statt, wenn eine Substanz mit einer andern, die relativ kälter ist, in Berührung gebracht wird. Daher scheint die Temperatur der Luft in tiefen Kellern während des Winters höher zu sein als während des Sommers. Der Grad von Wärme ist zu beiden Jahreszeiten ziemlich derselbe; aber da der menschliche Körper im Winter kälter ist als die Luft einer unterirdischen Grotte, so wird er aus ihr Wärme an sich ziehen, im Sommer dagegen wird die Luft im Keller dem Körper seine höhere Wärme entziehen. Aus den Experimenten, welche Bertholet, Pictet und Biot gemacht haben, geht hervor, daß die Wärme leichter durch einen Schlag von einem erhitzten Körper als durch einfache Berührung mitgetheilt wird *).

Die Gesetze der Fortpflanzung der Wärme durch die Körper mittels Leitung lassen sich aus folgendem Experiment ableiten: Gesetzt, eine zwei bis drei Ellen lange Metallstange werde mit einer stätigen Quelle von Wärme in Verbindung gesetzt, es werden ferner zehn Vertiefungen

*) Mémoires d'Arcueil, t. II. p. 447.

in dieselbe zu gleicher Entfernung von einem Ende zum andern gebohrt, diese Cavitäten mit Quecksilber ausgefüllt und in deren jede ein Thermometer getaucht; wenn man nun die Differenz der Temperatur der Luft von jener der verschiedenen Thermometer abzieht, so erhält man die Temperatur der Stange zu so vielen relativen Entfernungen von der Quelle der Wärme. Diese Entfernungen müssen nothwendigerweise eine arithmetische Progression bilden, während man finden wird, daß die Abnahme der Temperatur in einer geometrischen Progression stattfindet, und eine sich sehr schnell vermindernde Skale von Zahlen bildet. Die Verminderung der Wärme geht in der That mit einer solchen Geschwindigkeit vor sich, daß es unmöglich sein würde, die Temperatur des einen Endes einer 2½ Ellen langen Eisenstange, durch was immer für eine am andern Ende wirkende Hitze, auch nur um einen Grad zu erhöhen, denn die dazu erforderliche Hitze würde größer sein, als nothwendig ist, um das Eisen zu schmelzen, wie man dies leicht durch Berechnung beweisen kann.

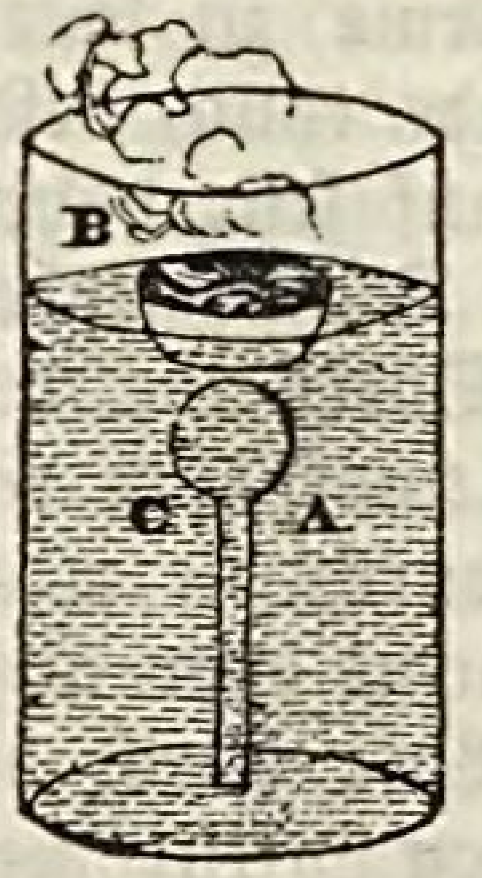
Obschon die Wärme die Tendenz hat, sich durch alle Körper leiten zu lassen, empfangen und theilen sie doch die einen leichter mit als die andern. Unter den festen Substanzen variirt ihre Fähigkeit, die Wärme zu leiten, gar sehr. Metalle sind bessere Wärmeleiter als das Holz, jedoch auch unter den Metallen wechselt die Fähigkeit, die Wärme zu leiten. Daher ist der Griff eines Theekessels von Holz, weil sonst das Metall, sowie siedendes Wasser hineingegossen wird, zu heiß sein würde, um es in der Hand halten zu können. Ingenhaus ermittelte die Verschiedenheit der Leitungsfähigkeit unter mehrern Metallen, indem er Stäbe davon, welche ganz gleiche Dimensionen hatten, in geschmolzenes Wachs tauchte, und dann, nachdem die Wachsbekleidung um alle Stäbe ausgekühlt war, sie bis zur selben Tiefe in erhitztes Öl tauchte, woraus er aus dem Unterschied der Zeit, deren es bedurfte, um das Wachs in jedem Falle zu schmelzen, auf die verschiedene

Leitungsfähigkeit dieser Metalle schloß. Es ergab sich hieraus, daß Silber der beste Wärmeleiter wäre, dann Gold, Zinn, Kupfer, Platina, Stahl, Eisen, Blei. Die Leitungsfähigkeit der Metalle scheint mithin unabhängig von ihrer Dichtigkeit, Zähheit und Schmelzbarkeit zu sein, denn die specifische Schwere des Silbers steht jener des Goldes oder der Platina nach, und doch ist seine Leitungsfähigkeit größer, während es geringere Zähheit hat als jedes dieser Metalle, und nicht so leicht schmelzbar ist als Zinn oder Blei. Nächst den Metallen scheinen die Edelsteine die besten Wärmeleiter zu sein, dann kommen steinige Körper, Porzellan, Glas und poröse erdige Substanzen, wie z. B. Ziegelsteine und Töpferwaare. Das Holz ist, sowol in seinem ursprünglichen Zustande, wie als Kohle, ein sehr unvollkommener Wärmeleiter, denn sowol Holz als Kohlen können leicht mit den Fingern nahe an den Theil gehalten werden, welcher brennt oder glüht.

Thierische und vegetabilische Substanzen von lockerem Gewebe, z. B. Pelz, Wolle, Baumwolle, sind sehr schlechte Wärmeleiter. Daher ihre Nützlichkeit als natürliche oder künstliche Bekleidung, um die Wärme des Körpers zu bewahren, weil sie den Durchgang derselben durch sie hindern. Es ist indessen wahrscheinlich, daß in diesen Fällen die Wirkung zum Theil von den Quantitäten der Luft abhängt, welche in den Zwischenräumen dieser lockern Substanzen eingeschlossen sind, denn die Luft ist einer der allerschlechtesten Wärmeleiter.

Tropfbare Flüssigkeiten sind gleichfalls nur sehr langsame und unvollkommene Wärmeleiter. Wenn Quecksilber in einen Krug gethan und kochendes Wasser darüber gegossen wird, so wird das metallische Fluidum nur sehr langsam von dem über demselben sich befindlichen Wasser Wärme annehmen. Ein Thermometer, welcher einige Fuß unter die Oberfläche eines Sees oder des Meeres getaucht wird, zeigt, wenn man ihn wieder hervorzieht, eine geringere Temperatur als auf der Oberfläche des Wassers, denn die letztere, welche durch die Sonnenstrahlen erwärmt ist, theilt

dem Wasser unten durch Leitung nur sehr wenig oder gar keine Hitze mit. Ja man kann sogar zweifeln, ob das Wasser überhaupt die Fähigkeit hat, Wärme durch Leitung mitzutheilen. Es sei A ein cylinderischer Wasserkrug mit einem in denselben eingetauchten Luftthermometer C, dessen Kolben sich dicht an der Oberfläche des Wassers befindet; B ist ein kleines kupfernes Becken, welches auf dem Wasser gerade über dem Kolben schwebt und von demselben nur durch eine sehr dünne Wasserschicht getrennt ist; wenn man nun glühende Kohlen in das Becken thut, so mag zwar die Oberfläche des Wassers bis zum Siedpunkte erhitzt sein, die Temperatur unter demselben ist aber nichtsdestoweniger kaum hinreichend, um auch nur die mindeste Wirkung auf den Thermometer hervorzubringen, so daß man daraus schließen kann, daß das Wasser die Wärme niederwärts nicht durch Leitung fortpflanzt.



Hier kann mit Recht die Frage aufgeworfen werden, wie es kommt, daß das Wasser mittels Anwendung der Wärme doch so leicht zum Kochen gebracht werden kann. Etwas Nachdenken wird jedoch zeigen, daß die Wirkung zum größten Theil von der Art abhängt, wie man diese Flüssigkeit erhitzt, nämlich, indem man Feuer darunter stellt. So wird die untere Schicht der Flüssigkeit durch die Wärme, die ihr durch den Boden des sie enthaltenden Gefäßes mitgetheilt wird, ausgedehnt, und steigt daher wegen seiner nun geringeren specifischen Schwere nach oben, das Wasser aber dagegen sinkt nieder, um an deren Stelle zu treten und auf gleiche Weise erhitzt zu werden, bis die ganze Masse dieselbe Temperatur hat. Die Art, wie das Sieden durch Aufsteigung von Luftblasen erleichtert wird, und die daraus entstehende Circulation der Flüssigkeit in aufsteigenden und niedersinkenden Strömungen ist bereits erörtert worden.

Die Luft scheint, gleich dem Wasser, keine wahrnehmbare Wirkung auf die Fortpflanzung der Wärme durch Leitung zu haben, woraus man folgern kann, daß gasartige Flüssigkeiten, wenn sie ja die Wärme zu leiten vermögen, dies in einem je geringeren Grade thun, desto dünner sie sind. So ist die Kälte, welche auf sehr hohen Bergen wahrgenommen wird, der äußersten Dünnheit der Luft in gewissen Entfernungen von der Oberfläche der Erde zuzuschreiben. Obschon jedoch die Atmosphäre ein so schlechter Wärmeleiter ist, können doch durch die relative Temperatur der Luft Substanzen erwärmt oder ausgekühlt werden, denn die Ausdehnung der Luft durch die Wärme und die nothwendige Erzeugung von Luftströmen bewerkstelligt eine schnelle Transmission der Wärme durch die Luft, und so wird die Temperatur jedes mit ihr in Berührung kommenden Körpers, je nach den Umständen, entweder steigen oder fallen. Die Luft theilt Wärme auch leicht durch Radiation mit, wie dies nachher erklärt werden wird.

Aus dem Erwähnten ergibt sich die Folgerung, daß diejenigen Körper, welche die Wärme am schnellsten absorbiren, sie auch am schnellsten wieder verlieren, das heißt, sie erhitzen sich schneller und kühlen schneller wieder aus als andere Körper. Metalle, welche die besten Leiter sind, und daher die Hitze am schnellsten mittheilen, können nicht in den Händen gehalten werden, wenn sie einmal eine Temperatur von 120 Grad Fahrenheit erlangt haben; Wasser brüht erst mit 150 Grad; wenn man aber Luft, die viel heißer ist als siedendes Wasser, mit der Haut in Berührung bringt, erregt sie keine besonders schmerzliche Empfindung. Es sind einige interessante Versuche über die Fähigkeit des Menschen, dem Einfluß der erhitzten Luft zu widerstehen, durch Sir Joseph Banks, Sir Charles Blagden, Dr. Solander und Dr. Georg Fordyce gemacht und Bericht darüber in den „Philosophical Transactions“ von 1775 niedergelegt worden. Diese Herren machten die Beobachtung, daß sie eine geraume Zeit ohne

Ungemach in einem 52 Grad über den Siedpunkt des Wassers erhitzten Zimmer bleiben konnten. Obschon sie jedoch die Berührung mit der Luft zu ertragen im Stande waren, vermochten sie doch keine metallische Substanz, z. B. ihre Uhrketten, anzugreifen. Eier auf eine dünne Ziegelplatte gelegt, wurden in dem erhitzten Gemache in 20 Minuten hart, und ein Beefsteak war in 23 Minuten gahr. Ähnliche Versuche sind oft wiederholt worden, besonders von Personen, welche solche Kunststücke des Geldes wegen zeigen; es ist aber nichts Außerordentliches dahinter, nichts, was nicht als das Ergebniß der Gewohnheit erklärt werden könnte. Der berühmte Bildhauer Chantry stellte analoge Beobachtungen mittels eines Ofens an, worin er seine Gypsabgüsse und Modelle zu trocknen pflegte. Der in dieser erhitzten Zelle aufgestellte Thermometer zeigte in der Regel 300 Grad Fahrenheit, und doch konnten die Arbeiter ohne Beschwerde hinein gehen und einige Minuten darinnen verweilen. An eine solche Hitze nicht gewöhnte Personen fanden doch, daß sie dieselbe eine kurze Zeit ohne Mühe aushalten konnten; ein Herr jedoch betrat unvorsichtigerweise den Ofen mit der Brille auf der Nase und verbrannte sich das Gesicht, indem er so durch eigenes Leiden die verschiedene Wirkung von Silber und Luft zur selben Temperatur kennen lernte.

Von der starken Anziehung der Hitze durch die Metalle und die daraus entspringende Leichtigkeit, womit sie andern Substanzen die Wärme entziehen, hängt zum großen Theil die Sicherheitslampe des Sir Humphry Davy ab, zum Gebrauch in Minen und andern Plätzen, welche von jenem brennbaren Gase, das man böse Wetter nennt, heimgesucht werden. Flamme ist Gas oder Luft im Zustande der Verbrennung, und alle Gase erfordern eine sehr hohe Temperatur, um sie zum Brennen zu bringen, so daß die Flamme des Gases auslöscht, sowie dessen Temperatur verringert wird. Davon kann man sich überzeugen, wenn man einer schwachen Flamme ein großes Stück Eisen nähert, oder einen eisernen Ring nach und nach

über die Flamme eines kleinen in Öl getauchten Baumwollenfadens senkt; sie wird, weil sie ihrer Hitze durch das Metall beraubt wird, auslöschen. Ebenso kann die Temperatur jedes brennbaren Gases unter Das, was man den Brennpunkt nennen könnte, gebracht werden, wenn man es durch ein feines Drahtgitter gehen läßt. Wenn man ein kleines Stück Kampher auf den Mittelpunkt eines ungefähr einen Quadratfuß großen, feinen Drahtgitters legt und unter die untere Fläche ein Licht hält, so wird der Dunst des Kamphers unter dem Gitter angezündet werden und brennen, ohne jedoch durchzugehen und den Kampher über demselben anzuzünden. Nun wird man leicht die Wirkung der Sicherheitslampe verstehen, welche eine Art Laterne von feinem Drahtnetz ist, innerhalb dessen eine Kerze oder ein in Öl getränkter Docht mit Sicherheit in Mitte einer Atmosphäre von entzündlicher Luft brennen kann; denn der brennbare Dunst wird zwar in die Laterne dringen und sich innerhalb derselben entzünden, aber die Flamme vermag nicht durch das dichte Drahtnetz zu dringen, um außen eine Explosion zu veranlassen.

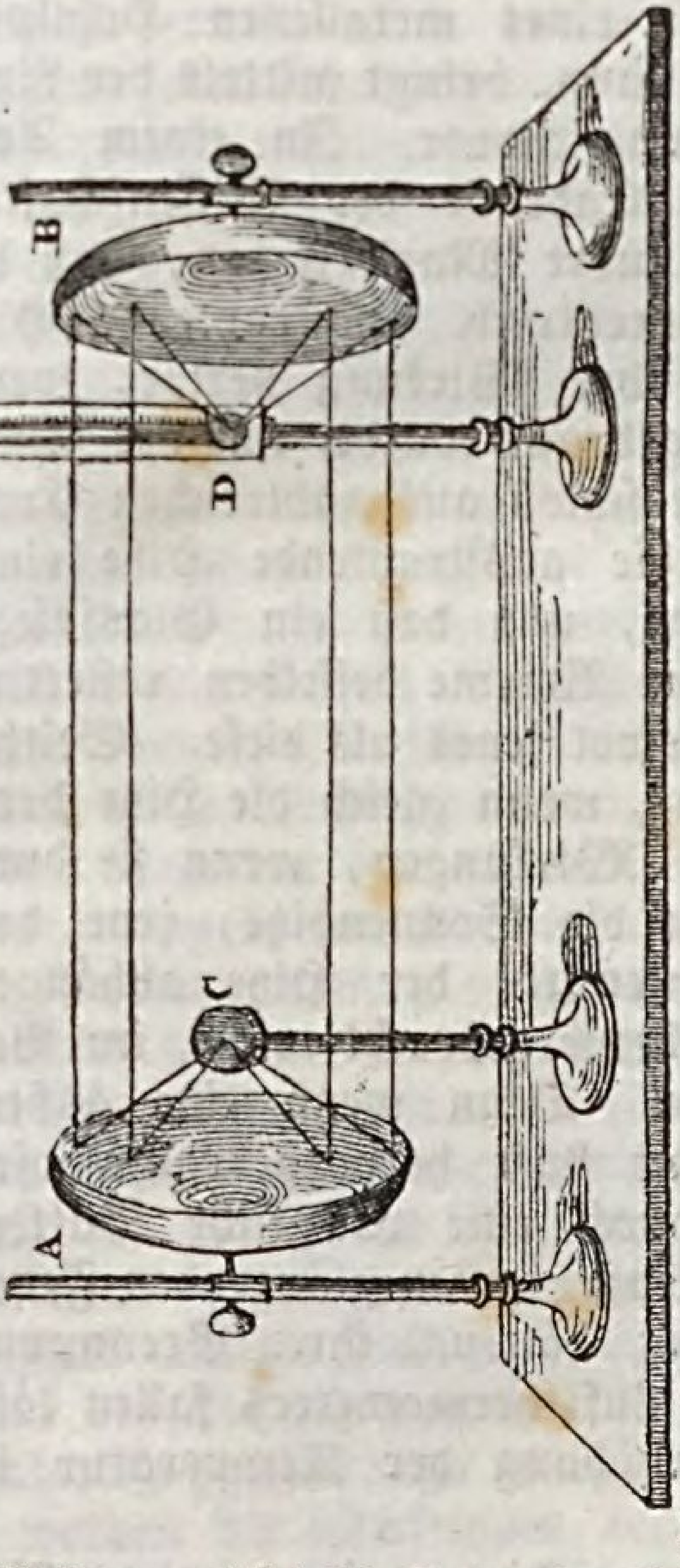
Die Wärme wird von einem Körper dem andern nicht blos durch circulirende Strömungen mitgetheilt, sondern auch bis auf große Entfernungen durch jedes elastische Fluidum mittels der Ausstrahlung oder Radiation fortgeführt. Diese Art der Propagation der Wärme gleicht jener des Lichtes, und da Licht und Wärme durch Ausstrahlung zuweilen zu gleicher Zeit fortgepflanzt werden, so werden die Wirkungen der ausstrahlenden Wärme gewöhnlich dem Lichte zugeschrieben, in dessen Begleitung sie sich kundgeben. Die alten Griechen kannten einige der außerordentlichen Wirkungen der ausgestrahlten, durch Brennglühen hervorgebrachten Hitze: durch solche Instrumente soll Archimedes die Schiffe der Römer während der Belagerung von Syrakus, und Jahrhunderte später der Philosoph Proclus die Flotte des Vitalianus vor Konstantinopel verbrannt haben.

Die Sonnenwärme kann durch einen Hohlspiegel con-

centrirt werden, wie nicht minder, wenn man sie durch eine convexe Linse durchläßt; aber die Wärme brennender Körper, welche leicht mittels eines metallenen Hohlspiegels zurückgeworfen werden kann, bringt mittels der Linse wenig oder gar keine Wirkung hervor. In einem Aufsatze in den Memoiren der Akademie der Wissenschaften zu Paris vom Jahr 1682 führt Mariotte an, daß die durch einen Hohlspiegel concentrirte ausstrahlende Hitze eines gewöhnlichen Feuers ihre Wirkung verlor, wenn eine Glasplatte dazwischen gebracht wurde, und der schwedische Naturforscher Scheele schloß aus zahlreichen Experimenten, daß das Glas die ausstrahlende Hitze eines Feuers vollkommen auffange, und daß ein Glasspiegel wol das Licht, aber nicht die Wärme desselben reflectire, ein Metallspiegel dagegen sowol jenes als diese. Seither hat man jedoch entdeckt, daß, wenn gleich die Hitze brennender Körper verschiedene Wirkungen, wenn sie durch Glas geht, hervorbringt als die Sonnenhitze, jene doch von der weit geringeren Intensität der Hitze abhängen, welche durch Verbrennung hervorgebracht wird, im Vergleich mit jener der Sonne. Denn wenn eine äußerst intensive künstliche Hitze mit Luft hervorgebracht wird, z. B. wenn man Kohlen durch eine voltaische Batterie anzündet, dann eine kleine Linse vor den glänzenden Feuerstern, den man gewonnen hat, hält und ihren Brennpunkt auf die Kugel eines zarten Luftthermometers fallen läßt, so wird man eine kleine Erhöhung der Temperatur bemerken.

Daß die Wärme von dem Körper in gerader Linie ausstrahlt, und daß sie durch den Focus eines Spiegels,

wie das Licht, zurückgeworfen werden kann, vermag man durch den nebenbei abgebildeten Apparat darzuthun. Er besteht aus zwei Hohlspiegeln A und B von polirtem Zinn oder plattirtem Kupfer, ungefähr einen Fuß im Durchmesser, welche einander auf eine Entfernung von 10 Fuß gerade gegenüber stehen. In den Focus des einen Spiegels bei C muß ein erhitzter Körper, z. B. eine Eisenkugel, und in den Focus des zweiten ein Differentialthermometer gebracht werden. Dann werden die Strahlen der Wärme, die auf den Spiegel A fallen, durch die Luft auf den Spiegel B reflectirt, wo sie in den Brennpunkt bei D convergiren und auf den da befindlichen Thermometer eine mit der Wärme der Eisenkugel oder eines andern erhitzten Körpers im Verhältniß stehende Wärme hervorbringen. Daß diese Wirkung nicht die Folge der bloßen Zerstreuung der Wärme durch die Luft ist, kann man beweisen, wenn man eine Schiene von Pappe zwischen den Spiegel A und den Thermometer hält, wo dann der letztere, obschon der Quelle der Wärme so nahe als zuvor, durch sie entweder nicht, oder nur im geringsten Grade afficirt wird. Und wenn man die Kugel aus dem Brennpunkt des Spiegels A wegnimmt und dann dem Thermometer näher bringt, so wird doch die Wirkung viel geringer sein. Wenn man ein Ker=



zenlicht oder eine Flasche mit siedendem Wasser statt der erhitzten Kugel nimmt, wird dieselbe Wirkung hervorgebracht werden. Wenn man einen Körper, der eine stärkere Glut aussprüht, z. B. glühende Kohle, in den Focus des einen Spiegels, und in den des andern ein Stück Phosphor bringt, so wird dieser sogleich entzündet werden; auf gleiche Weise kann man die Detonation von Knallsilber oder die Verbrennung von Schießpulver bewirken. Zur Bewirkung der letzten Versuche mag Sir H. Davy's Anordnung der Spiegel, nämlich einander scheitelrecht gegenüber, befolgt werden.

Ein außerordentliches, aber etwas problematisches Phänomen, das durch solche Spiegel gezeigt werden kann, ist die Radiation der Kälte. Denn wenn man statt des erhitzten Eisens einen Schneeball oder ein Stück Eis in den Focus des Spiegels A bringt, so wird der Thermometer eine Veränderung der Temperatur zeigen. Daraus haben Einige geschlossen, daß die Kälte eine eigenthümliche feine Flüssigkeit ist und durch Radiation fortgepflanzt werden kann; allgemeiner hat man jedoch jene Wirkung der Entziehung der Wärme durch die gegenüberstehende Masse Eis das Sinken des Thermometers zugeschrieben.

Diejenigen Körper, welche die Wärme am vollkommensten zurückwerfen, wie die oben beschriebenen polirten Spiegel, erlangen selbst keine Hitze von den auf ihre Oberfläche aufprallenden Strahlen, so daß ein solcher Spiegel lange einem Feuer gegenüber bleiben kann, ohne merklich wärmer zu werden. Wenn man jedoch die Oberfläche des Metalls rauh macht, indem man mit Sand darauf kratzt oder sie mit einem Teig aus Kienruß und Kalk beschmiert, so werden sie die Strahlen der Wärme sogleich einsaugen, statt sie zurückzuwerfen. Daraus ergibt sich, daß die Wirkungen der ausstrahlenden Wärme zum großen Theile von dem Zustand der Oberfläche der Körper abhängen. Da polirte Metalle die Hitze sehr langsam absorbiren, so entweicht sie auch nur langsam von solchen Körpern; daher wird kochendes Wasser in einer silbernen Theekanne viel länger heiß bleiben als in einer von schwarzem Thonge-

schirre, weswegen auch Gefäße von polirtem Metall zum Bereiten von Thee oder andern vegetabilischen Infusionen die besten sind. Substanzen von lichter und sehr glänzender Farbe reflectiren die Wärme leicht, absorbiren sie aber nicht; während schwarze oder sehr dunkelfarbige Körper die auf sie fallende Wärme absorbiren, aber nicht reflectiren. Wenn man unter gleichen Umständen Stücke von weißem und Stücke von schwarzem Tuch über Schnee legt, so wird er unter dem letztern bald schmelzen, aber vollkommen fest unter jenem bleiben. In einigen gebirgigen Districten Europas pflegen die Bauern schwarze Erde oder Ruß im Frühling über den Schnee zu breiten, damit er schneller aufthaue, sie mithin auch früher pflügen könnten.

Man kann im Allgemeinen annehmen, daß alle Körper von ungleicher Temperatur darnach streben, eine gleiche zu erhalten, wenn in Berührung, durch Leitung, wenn in beträchtlichen Entfernungen, durch Radiation des Übermaßes der Wärme, und in diesem letztern Falle ist es gleichviel, ob die Radiation der kältern Körper direct oder durch einen Zwischenreflex trifft *).

*) S. Report on the present State of our Knowledge of the Science of Radiant Heat, presented to the British Association, by Professor Powell, in 1822.

Druck von F. A. Brockhaus in Leipzig.

BSB Bayerische StaatsBibliothek
MIDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Sporschil, Johann,

Anleitung zum Selbststudium der Pyronomik

Leipzig 1839

Bamberg, Staatsbibliothek -- Phys.o.67-d#5
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11763697-3